Muskelveränderungen bei Kaninchen nach Kniegelenksfixation und Unterschenkelamputation

Gernot Denzler

1972

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546017_0068

DISSERTATIONS – und FOTODRUCK FRANK oHG
8000 München 2 · Gabelsbergerstr. 15 · Tel.: 2 80 90 90

Aus der Orthopädischen Klinik und Universitäts-Poliklinik
der Universität München
Direktor: Prof.Dr.A.N.Witt

Muskelveränderungen bei Kaninchen nach Kniegelenksfixation und Unterschenkelamputation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Gernot Denzler

aus
München

Jahr
1972

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Priv.Doz.Dr.D.Tönnis
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.A.N.Witt
Dekan:	Prof.Dr.W.Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	10.Oktober 1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

A Einführung

I. Grundlagen der quergestreiften Muskulatur S. 1
II. Experimentelle Muskelveränderungen S. 4
III. Problemstellung S. 4

B Material und Methodik

I. Material und Operationstechnik S. 5
II. Histologische Technik S. 6
III. Meßtechnik S. 8

C Auswertung

I. Allgemeine Befunde S. 1o
II. Muskelveränderungen
1.) Unterschenkelmuskulatur S. 12
2.) m.vastus intermedius S. 13
3.) m.semitendinosus (Durchmessermethode) S. 15
4.) m.semitendinosus (Classimat) S. 17
5.) Muskel mit 3 Fasertypen S. 19

D Zusammenfassung und Diskussion S. 38

E Anhang

I. Tabelle 4 S. 45
II. Literaturverzeichnis S. 56
III. Bildmaterial S. 59
IV. Lebenslauf S. 6o

A Einführung

I. Grundlagen der quergestreiften Muskulatur.

Wenn in der vorliegenden Arbeit über Veränderungen von Kaninchenmuskulatur nach Kniegelenksfixation und Unterschenkelamputation berichtet wird, so erscheint es zweckmäßig, zunächst kurz auf die normalen Verhältnisse der quergestreiften Säugetiermuskulatur einzugehen, soweit sie im Rahmen dieser Arbeit als Grundlagen von Interesse sind.

Der früheste Versuch einer Einteilung der Skelettmuskulatur dürfte wohl die Gruppierung, auf Grund der makroskopischen Farbverschiedenheit, in rote und weiße Muskeln durch STEFANO LORENZI im Jahre 1678 sein. Bis heute dauert allerdings die Diskussion darüber an, welche anatomischen, biochemischen und physiologischen Gegebenheiten den roten wie den weißen Muskeln zuzuordnen sind.

Erste morphologische Untersuchungen an Hasen und Kaninchen wurden von RANVIER (1) beschrieben, der feststellte, daß weniger der Sarkoplasmareichtum als vielmehr der Grad der Kapillarisierung in direkter Beziehung zur makroskopisch sichtbaren Färbung steht. Fasern aus roten Muskeln sind in der Regel sehr viel besser kapillarisiert als solche aus weißen Muskeln.

Mit Arbeiten an Amphibien ging KRÜGER (2) näher auf die Morphologie der Muskelfasern ein. Er fand, daß im Muskelfaserquerschnitt die Fläche der Fibrillen sich unterschiedlich darstellt und beschrieb so zwei Fasertypen, den einen mit mehr polygonaler Anordnung der Fibrillen (Felderstruktur), den anderen mit mehr punktförmiger Anordnung (Fibrillenstruktur). Auch bei Vögeln und Säugetieren beschrieb KRÜGER (3) später den Felderstrukturtyp, den sarkoplasmareiche, trübe Fasern aufweisen, und den Fibrillenstrukturtyp, den sarkoplasmaarme, helle Fasern zeigen. Er konnte weiterhin beim Kaninchen dem roten m.semitendonosus tonische und dem weißen m.semimembranosus tetanische Funktionen zuordnen.

BULLARD (4) ging über die Einteilung der Muskelfasern in zwei Gruppen hinaus, als er bei Untersuchungen auf den Fett-

gehalt der Muskulatur bei Katzen fand, daß mit der Fettfärbung Sudan III eine Gruppe von Fasern sehr stark, eine zweite Gruppe fast gar nicht angefärbt werden konnte und eine dritte Gruppe sich in der Farbstoffannahme zwischen den beiden ersten hielt. Weiterhin würden verschiedene Muskeln eine verschiedene Zusammensetzung aus diesen drei Gruppen aufweisen. Eine Beziehung zu den Kriterien „rot" oder „weiß" konnte BULLARD nicht aufzeigen.

Mit Untersuchungen von STEIN und PADYKULA (5), GAUTHIER und PADYKULA (6) und HEENE (7) konnten Parallelen zwischen einerseits histochemischen und elektronenmikroskopischen Befunden und andrerseits der makroskopischen Farbe eines Muskels gezogen werden. Diese Untersuchungen auf den Mitochondriengehalt der Muskelfasern hatten ergeben, daß rote Muskeln mitochondrienreich und weiße Muskeln mitochondrienarm sind.

ROMANUL (8) prüfte die Muskulatur auf ihre Zusammensetzung an Stoffwechselenzymen und unterteilte in zwei Gruppen: eine mit vorwiegend oxydativem und eine mit vorwiegend glykolytischem Stoffwechsel. Zu den gleichen Ergebnissen kamen PETTE und BÜCHER (9) (1o) (11), die das Enzymaktivitätsmuster des m.semimembranosus beim Kaninchen untersuchten. Sie fanden, daß der „rote", „tonische" m.semitendinosus reicher an oxydativen Fermenten sei, hingegen der „weiße", „phasische" m.semimembranosus reicher an glykolytischen Fermenten.

Die Gleichsetzung von Farbe und Funktion eines Muskels wurde auch von BROOKE und KAISER (12), allerdings mit Fragezeichen, durchgeführt.

In diesem Zusammenhang ist auch die Klassifizierung von ENGEL (13) zu erwähnen, die auf der unterschiedlichen Aktivität der Adenosintriphosphatase des Myosins beruht. Die ATP-ase-Aktivität ist für die Kontraktionsgeschwindigkeit wesentlich(BARANY) (14), es besteht eine direkte Proportionalität. ENGEL unterschied nun Muskelfasern vom Typ I mit schwacher ATP-ase-Aktivität und Muskelfasern vom Typ II mit starker ATP-ase-Aktivität.

Während mit diesen morphologischen, biochemischen und physiologischen Einteilungen die Muskelfaser im wesentlichen als Einheit betrachtet wurde, zeigen GORDON und PHILLIPS (15) und

OLSON und SWETT (16), CLOSE (17) und BURKE (18), daß ein Muskel aus verschiedenen, schnellen und langsamen physiologischen Einheiten gemischt sein kann und in der überwiegenden Mehrzahl auch ist.

Besonders ALDERSON und McLAGAN (19) sowie SCHMALBRUCH (2o) machen deutlich, daß es nicht möglich ist, morphologische, physiologische und biochemische Eigenheiten der verschiedenen Muskeln in allgemein gültiger Aussage zu einem System zu vereinigen.

Somit kann als Grundlage für die Beschreibung der Kaninchenmuskulatur und ihren beobachteten Veränderungen nur ein System dienen, das die Muskulatur nicht in ihrer Gesamtheit, sondern von der eigenen Darstellungstechnik her erfaßt.

Die histologische Bearbeitung der Kaninchenmuskulatur nach den eigenen Versuchen und die daraus resultierenden Befunde legen es nahe, von einer Klassifizierung auszugehen, wie sie zuletzt in einer der neuesten Arbeiten über die quergestreifte Muskulatur von SCHMALBRUCH (2o) gegeben wird. Er unterscheidet anhand der Mitochondrien- und Fettverteilung drei Fasertypen:

1. Typ A: Selten liegen kleine Mitochondrienanschnitte neben den I-Bändern, Neutralfett fehlt nahezu völlig.
2. Typ B: Regelmäßig finden sich kleine Mitochondrienanschnitte neben den I-Bändern, Fettpartikel sind etwas häufiger als in A.
3. Typ C: Zahlreiche Mitochondrienanschnitte liegen sowohl in Höhe der I-Bänder als auch in Sarcoplasmastraßen zusammen mit Fettpartikeln zwischen den Myofibrillen und in der Nähe der zahlreichen Capillaren in Aussackungen des Sarcolemms.

Mit Sudanschwarz B färben sich Fasern des Typs A gar nicht, des Typs C stark. Typ B nimmt eine Zwischenstellung ein.

II. Experimentelle Muskelveränderungen.

Über Muskelveränderungen gibt es umfangreiche Literatur, vor allem im Zusammenhang mit Tenotomie und Veränderungen oder Unterbrechung der Innervation. In diesem Zusammenhang seien erwähnt: ECCLES (21), McMINN und VRBOVA (22) (23) (24), BULLER und LEWIS (25), BERGMANN und AFIFI (26), GINETZINSKIJ et al. (27). Folgende Veränderungen -in kurzer Zusammenfassung- wurden beschrieben:

- Nach Tenotomie treten Degenerationserscheinungen in Form von Atrophie, Bindegewebsvermehrung, intrazellulärer Lipoideinlagerung und Vakuolenbildung auf, ausgeprägter bei langsamen Muskeln, Muskeln mit langen Kontraktionszeiten (z.B. m.soleus) als bei schnellen Muskeln, Muskeln mit kurzen Kontraktionszeiten (z.B. m.peroneus).
- Degenerationserscheinungen treten nicht auf, wenn gleichzeitig eine Denervation durchgeführt wird.
- Bei Denervation ohne Tenotomie sind langsame und schnelle Muskeln in gleichem Maß von histologischen Veränderungen betroffen.

Besonders zu vermerken sind die Arbeiten von BULLER et al.(28) über Muskelveränderungen nach Kreuzinnervation sowie nach Bewegungstraining in einer Form, die der natürlichen Funktion des Muskels nicht entspricht, mit dem Ergebnis, daß sich die morphologische und enzymatische Charakteristik verändert. Auch CLOSE (29), ROMANUL und VAN DER MEULEN (3o) stimmen damit überein, daß sich ein neu innervierter Muskel physiologisch und histochemisch dem Muskel angleicht, von dem sein neuer Nerv ursprünglich stammt.

III. Problemstellung.

Die Fragestellung, die der eigenen Arbeit zugrunde liegt, ergab sich im Rahmen der Untersuchungen von WALCHER und STÜRZ (31) zur Frage, ob Immobilisation und dosierte Druckbelastung eines Gelenks im Tierversuch zum knöchernen Durchbau führt. Mit der

dazu erstmals durchgeführten transartikulären Druckbolzenfixation des Kniegelenks von Kaninchen konnte eine absolute, totale Ruhigstellung dieses Gelenkes erzielt werden, mit entsprechender Bewegungs- und Muskelaktivitätseinschränkung. Gleichzeitig wurde eine Unterschenkelamputation durchgeführt.

Mit der vorliegenden Arbeit soll die Frage beantwortet werden, welchen Einfluß auf die Muskulatur diese totale Blockierung der Bewegung im Kniegelenk bei intakter Innervation und bei Unterschenkelamputation im Tierversuch am Kaninchen hat, welche Muskelveränderungen sich daraus ergeben.

B Material und Methodik

I. Tiermaterial und Operationstechnik.

Zur eigenen Auswertung wurden die Befunde von 22 ausgewachsenen Kaninchen herangezogen. Zum Zeitpunkt der Operation waren sie 2,8o - 3,5o kg schwer, beiderlei Geschlechts und verschiedener Rasse.

Die Operation wurde von WALCHER und STÜRZ (31) durchgeführt: Durch die fossa intercondylica des Femur und das Intercondylenmassiv der Tibia rechts wurde als Führung für einen Stahldruckbolzen ein Kanal gebohrt, Einführung des Bolzen, beidseitige Arretierung. Die Fixation des Kniegelenks erfolgte so in einer Beugestellung von 9o bis 1oo Grad. (Abb.1)

In Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß zur Vermeidung von Frakturen der Unterschenkel amputiert werden mußte. Die Amputation erfolgte im Bereich des distalen Drittelpunktes, die Gefäße wurden ligiert, eine Antagonistennaht gelegt, die Wunde in Schichten geschlossen, Behandlung mit Dermospray, Stülpaverband, sowie Antibiotikaprophylaxe.

Abb.1 Fixation des Kniegelenkes durch transartikulär gelegenen Druckbolzen (nach WALCHER,31)

Die Tötung der Tiere erfolgte in verschiedenen Zeitabständen nach der Operation. So ergaben sich Immobilisationszeiten von 14 Tagen, 1, 2, 3, 6, 8 und 9 Monaten.

Nach der Tötung wurde die Muskulatur der linken und rechten hinteren Extremität freipräpariert und jeweils in gleicher Höhe von folgenden Muskeln eine 2 - 3 cm lange Probe herausgeschnitten:

- Oberschenkelmuskeln

m.adductor magnus
m.biceps, caput breve
m.biceps, caput longum
m.rectus femoris
m.semimembranosus
m.semitendinosus
m.vastus intermedius
m.vastus lateralis
m.vastus medialis

- Unterschenkelmuskeln

m.extensor digitorum
m.gastrocnemius laterale
m.gastrocnemius mediale
m.peroneus
m.soleus
m.tibialis anterior

II. Histologische Technik.

Nach Fixierung in 5 % Formalin wurden im Kryostat 28 - 30μ dicke Gefrierschnitte angefertigt. Zur histologischen Darstellung erfolgte die Fettfärbung mit Sudanschwarz B nach ROMEIS (32) in folgender -abgewandelter- Anweisung:

1.) Bereiten der Farblösung

-5oo mg Sudanschwarz + 25 ml 7o% Alkohol im Wasserbad bis zum Sieden erhitzen, abkühlen, filtrieren. (3 Std. gekühlt haltbar)

2.) Färbung der Gefrierschnitte

- Präparat mit Objektträger vom Messer abnehmen
- sofort mit Farblösung beträufeln (Pipette), 1 - 2 Min. einwirken lassen
- Farblösung mit Zellstoff absaugen, Präparat kurz in 7o% Alkohol säubern
- in aqua destillata gründlich spülen
- auf neuen Objektträger aufziehen, mit Glycerin eindecken.

Beim Durchführen der Färbung war zwei Schwierigkeiten zu begegnen:

- Farbstoffniederschläge auf dem Präparat,
- Zerreißen des Präparates beim Eintauchen in aqua destillata.

Die Farbstoffniederschläge waren bedingt durch die geringe Löslichkeit von Sudanschwarz in Alkohol und durch das leichte Verdunsten des Alkohols. Völlig saubere, von störenden Farbpartikelchen freie Präparate konnten dadurch gewonnen werden, daß die Färbung in alkoholgesättigter Luft ausgeführt wurde. Somit wurde das Verdunsten von Alkohol aus der Farblösung verhindert, damit ein Überschreiten des Löslichkeitsproduktes und damit wiederum ein Ausfallen des Farbstoffes.

Die Ursache für das Zerreißen der Präparate beim Eintauchen in aqua destillata war die Oberflächenspannung des Wassers. Durch den Zusatz eines die Oberflächenspannung herabsetzenden Mittels (Pril) konnte auch diese zweite Schwierigkeit umgangen werden. - Vergleichsmessungen ergaben, daß der Zusatz von 2 - 3 Tropfen Pril keinen Einfluß auf die Größe der Faserflächen hatte.

Durch die Wahl der histologischen Methode hatte sich das große Thema "Muskelveränderungen" auf einige Fragen spezialisiert:

- Decken sich die eigenen Befunde mit denen von SCHMALBRUCH, die Unterteilung in Fasertyp A,B,C ?
- Verändern sich die Fasertypen A,B,C hinsichtlich ihrer Querschnittsfläche wie hinsichtlich ihres zahlenmäßigen Vorkommens ?
- Gibt es von der Immobilisationszeit abhängige Veränderungen ?
- Tritt neben der Inaktivitätsatrophie bei einigen Muskeln eine Hypertrophie auf ?

Um zu einer Exakten Darstellung der Muskelfaserquerschnittsflächen zu gelangen, wurde beim Anfertigen der Schnitte streng darauf geachtet, senkrecht zum Verlauf der Muskelfaser zu schneiden. Trotzdem konnten einige Muskeln wegen ungenügender Präparierung nicht in die Auswertung aufgenommen werden. Vier Muskeln trockneten während der Fixierung aus, die Fixierungsgläschen waren undicht geworden. So erklärt es sich auch, daß nicht bei allen Kaninchen die gleiche Anzahl von Muskeln in der Auswertung erscheint.

In der Regel wurden von einem Muskel vier Sudanschwarz B - Präparate angefertigt. Schon beim Herausschneiden der Muskelproben war Wert darauf gelegt worden, das Untersuchungsmaterial bei den gleichnamigen Muskeln in gleicher Höhe zwischen Ansatz und Ursprung zu gewinnen; mit gleichem Ziel wurde beim Anfertigen der Präparate verfahren.

III. Meßtechnik.

Zur Bestimmung der Querschnittsflächen wurden die Präparate photographiert, wobei mit gleicher Vergrößerung der geeichte Maßstab eines Objektmikrometers aufgenommen wurde und zwar für jeden Film gesondert. So wurden Meßfehler ausgeschlossen, die durch eine von Film zu Film, wenn auch nur geringfügige, unterschiedliche Vergrößerung der Negative hätte auftreten können. Die Skala des Objektmikrometers hatte eine Länge von 1 mm, unterteilt in 1oo Einheiten. Durch zusätzliche Unterteilung auf den Positiven betrug die kleinste Längeneinheit 2,5 μ.

Mit diesem nach dem Positiv angefertigten Längenmaßstab wurden für eine Querschnittsfläche zwei senkrecht zueinander stehende Durchmesser gemessen, die unter dem Gesichtspunkt ausgewählt wurden, daß die daraus errechenbare Rechtecksfläche $d_1 \times d_2$ annähernd der wirklichen Muskelfaserquerschnittsfläche entspricht. Diese Meßmethode mit Ermittlung von Annäherungswerten erlaubt es natürlich nicht, die Werte der einzelnen Faser zum Vergleich heranzuziehen. Die Beurteilung und Berechnung von Flächenänderungen zwischen der linken, nicht operierten, und der rechten operierten hinteren Extremität stützt sich nicht auf Einzelwerte, sondern auf den Mittelwert einer großen Anzahl von Fasern. Da davon ausgegangen werden kann, daß der Meßfehler als statistischer und nicht als systematischer Fehler in die Berechnungen einging, ist ersichtlich, daß der Meßfehler sich bei der Mittelwertbildung heraushebt.

Hier sei auch auf die Fasermessungen mit einem von der Firma LEITZ zur Verfügung gestellten Meßgerät (Classimat) hingewiesen

Zur Flächenbestimmung wurden nur Muskelfasern gemessen, die quer angeschnitten waren und in der Mitte des Muskels lagen. Für am Rand liegende Fasern besteht die Möglichkeit, daß sie durch das Fixierungsmittel oder durch den Messerschnitt verändert sind.

Wie unter dem Kapitel "Befunde" (S.1o) beschrieben, konnten drei Fasertypen unterschieden werden. In der Regel setzt sich die Berechnung des Mittelwertes der Faserquerschnittsfläche ($\overline{F}$) für jeden einzelnen Typ aus 1oo Einzelwerten zusammen. $\overline{F}$ gibt das arithmetische Mittel der Querschnittsfläche an.

Anhand der Photographien wurden 4oo Fasern ausgezählt und die Verteilung der drei Fasertypen bestimmt.

Mit den ermittelten Werten für die mittlere Fläche der Muskelfasern und der Verteilung der drei Fasertypen wurde durch Subtraktion die Flächenänderung und die Änderung in der Anzahl der auf die drei Gruppen entfallenden Fasern berechnet. Als Subtrahend diente jeweils der Wert der operierten Extremität. Das bedeutet, daß in den unten folgenden Tabellen ein positiver Wert das Ausmaß der Atrophie bezw.die Abnahme der Faseranzahl bei der operierten Extremität bezeichnet, ein negativer

Wert Hypertrophie bzw. Zunahme der Faseranzahl.

Für $\bar{F}$ wurden die Standartabweichungen (SD) berechnet, für die Verteilung Z die Vertrauensgrenzen (VG) bei einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95 %.

Die Flächenwerte der gleichnamigen Muskeln differieren bei den verschiedenen Kaninchen erheblich. Ein Vergleich mit den absoluten Zahlen ist deshalb von sehr geringem Wert. Um einen gemeinsamen Ausgangspunkt zu erhalten, wurde die jeweilige Änderung in Prozent berechnet, wobei die Werte der nicht operierten Extremität gleich 1oo % sind.

Die absoluten Werte geben außerdem nur eine Aussage, ob sich etwas geändert hat, wenn sie nicht im Zusammenhang mit den Ausgangswerten geprüft werden. Es ist jedoch unerläßlich, das Ausmaß der Veränderungen anzugeben, was durch die Prozentangabe erreicht wird.

C Auswertung

I. Allgemeine Befunde.

Die im Querschnitt polygonalen Muskelfasern imponierten mit der Sudanschwarz B-Färbung in ihrer Gesamtheit als eine Art "Schachbrettmuster". Mit Ausnahme des m.vastus intermedius und des m.semitendinosus konnten drei Fasergruppen mit folgenden Kriterien unterschieden werden: (Abb.2,S.59)

Gruppe I : sehr schwache Anfärbbarkeit,
Gruppe II : mäßige Anfärbbarkeit,
Gruppe III: sehr starke Anfärbbarkeit.

Allerdings muß betont werden, daß es zwischen den drei Gruppen keine scharfe Trennung in der Farbtönung gibt, die Übergänge sind fließend. Auch die Farbintensität, vor allem der Gruppe C, wies bei einigen Muskeln Unterschiede auf, was nicht

allein auf die Färbetechnik zurückzuführen sein dürfte.

In Übereinstimmung mit SCHMALBRUCH (2o) (S.3) werden die Fasern der Gruppe I als Typ A, der Gruppe II als Typ B und der Gruppe III als Typ C bezeichnet.

Sowohl $\overline{F}$ als auch Z nehmen von A nach C ab. (Tab.4,S.45)

Mit der Bildung des Produktes $\overline{F} \times Z$ könnte die Teilfläche, mit der jeder einzelne Fasertyp an einem durch Z definierbarem Muskelareal beteiligt ist, berechnet und damit gewissermaßen die Typencharakteristik des Muskels beschrieben werden. Da jedoch die Werte für $\overline{F}$ einen großen Streuungsbereich haben, würden die absoluten Flächenverteilungswerte nur von geringem Aussagewert sein. Um trotzdem zu einer Beschreibung der Typencharakteristik zu kommen, kann man berücksichtigen, daß, wie oben festgestellt, $\overline{F}$ und Z von Typ A über Typ B nach Typ C abnehmen. Somit erlaubt allein das Verhältnis $Z_A : Z_B : Z_C$ eine relative Aussage darüber, in welchem Ausmaß die drei Typen an der Bildung des Muskels beteiligt sind, welche Typencharakteristik der Muskel aufweist. SCHMALBRUCH (2o) konnte nach der Häufigkeit der C-Fasern drei Gruppen unterscheiden :

I. unter 2o% C-Fasern,
II. 2o-5o% C-Fasern,
III. über 5o% C-Fasern.

Das Verhältnis der Anzahl A:B:C unterliegt großen Schwankungen. Bei der Besprechung der einzelnen Muskeln (S.12ff) werden die gefundenen Werte angegeben. Zur groben Orientierung mag hier ein annähernd mittleres Verhältnis von 7:2:1 genügen.

Als wiederum nur grob orientierender Wert kann für $\overline{F}$ bei Typ A 3ooo μ^2, bei Typ B 15oo μ^2, und bei Typ C 1ooo μ^2 angegeben werden.

Mit Abbildung 2 kann eine häufig gemachte Beobachtung demonstriert werden, und zwar die fast ausschließlich durch Fasern des Typs A erfolgende Begrenzung kleiner Muskelbündel. Zentral ist die Anzahl der B- und C-Fasern deutlich größer als im Randgebiet, sie liegen in "Nestern" zusammen. Die Flächenform von Typ A ist am Rand wesentlich einheitlicher als bei mittelständiger Lage. Die Einrahmung kleiner Muskelbündel erinnert an das histologische Bild von einschichtigem kubischem

Epithel. Die Muskeln m.semitendinosus und m.vastus intermedius wiesen bei allen Tieren nur den Fasertyp A auf (Abb.3). Gleichzeitig konnte beobachtet werden, daß gerade und allein diese beiden Muskeln sich in situ bei allen Versuchstieren durch ihre rote Färbung deutlich von den anderen Muskeln absetzten.

Nach GAUTHIER und PADYKULA (6), SCHMALBRUCH (33), GAUTHIER (34) besitzen die roten Muskelfasern kleiner Säugetiere die Charakteristik des Fasertyps C, enthalten also viele Fettpartikel. Die eigenen Befunde stimmen damit nicht überein. Es muß somit noch einmal unterstrichen werden, was in der Einführung schon gezeigt worden war (S.3), daß eine allgemein gültige Gleichsetzung von, in unserem Beispiel, makroskopisch-morphologischen und histochemischen Merkmalen nicht statthaft ist.

II. Muskelveränderungen.

1.) Unterschenkelmuskulatur.

Die Unterschenkelmuskulatur war nach der Kniegelenksfixation und Unterschenkelamputation mit Antagonistennaht nur noch zu isometrischen Kontraktionen befähigt. Bei der überwiegenden Mehrzahl der Kaninchen trat bereits nach zweimonatiger Immobilisation eine ausgeprägte Unruhe in der Größe der Muskelfasern auf; stark atrophische Fasern wechselten mit hypertrophischen ab. Die polygonale Querschnittsform war einer Abrundung gewichen, die Farbdifferenzierung trat zurück, die mittelständige Kernzahl erschien vermehrt, vereinzelt Vakuolenbildung. Mit diesen Kriterien ist der Zustand einer Myopathie erfüllt. Zur Klärung, um welche Form der Myopathie es sich hier handelt, wurden Goldner- und van Gieson-Präparate angefertigt (32). In der Übersicht zeigte sich vor allem das perimysiale Bindegewebe stark vermehrt. Perivaskulär herrschte eine Zellinfiltration vor, mit Ausbreitung ins Interstitium. Neben der großen Anzahl von Rundzellen traten vereinzelt Granulozyten auf. Die Muskelfasern unterlagen teilweise einem granulären, scholligen Zerfall. Somit konnte eine nicht eitrige Myositis festgestellt

werden.

Für eine endogene Myositis gibt es keinen Anhaltspunkt. Zudem spricht das Auftreten bei der überwiegenden Anzahl der Kaninchen dagegen. Eher läßt sich eine Verbindung zu exogenen Faktoren herstellen, zur Operation und Immobilisation.

Die Unterschenkelmuskulatur zeigte also eine myopathische Veränderung, die als eine mit der Dauer der Immobilisation fortschreitende exogene, posttraumatische Polymyositis zu bezeichnen ist.

Aufgrund des Verlustes einer klaren Typendifferenzierung und aufgrund der hypertrophisch-atrophischen Muskelfasern erschien es nicht sinnvoll, die Unterschenkelmuskulatur in die vergleichenden Messungen mit einzubeziehen.

Schwer erklärbar ist die Tatsache, daß der m.tibialis anterior dieser sekundären Myopathie nur in einem Fall unterlag. - In diesem Kapitel II wird nur eine Beschreibung der jeweiligen Muskelveränderungen gegeben. Nach der so erfolgten Gesamtdarstellung kann in der Diskussion zusammenfassend, vergleichend und übersichtlich auf die Beurteilung und Erklärung der Veränderungen eingegangen werden.

2.) m.vastus intermedius.

Zusammen mit dem m.semitendinosus nahm der m.vastus intermedius durch die alleinige Zusammensetzung aus A-Fasern eine Sonderstellung ein. Darüber hinaus zeigte der rechte m.vastus intermedius mit mehr als dreimonatiger Immobilisation noch einige Besonderheiten, sowohl beim Zustand in situ, als auch bei der Fixation und weiteren Präparierung, wie schließlich auch im histologischen Bild:

- Nach dem Freilegen der Unterschenkelmuskulatur imponierte der m.vastus intermedius der operierten Extremität in situ nicht wie bei der linken Extremität durch seine auffällig rote Färbung, sondern erschien vielmehr gelblich weiß. Er war stark verkleinert und von teils weich zerfließlicher, teils derber

Konsistenz. Das typische makroskopische Muskelbild zeigte er begrenzt im Bereich des Ursprungs am Femur (Abb.4,5,6).

- Die herausgeschnittene Muskelprobe schwamm an der Oberfläche der Fixierungsflüssigkeit und kehrte auch nach längerem Eintauchen wieder zu ihr zurück.

- Das Anfertigen von Gefrierschnitten war mit größten Schwierigkeiten verbunden; der Muskel wurde nicht hart genug, die zu schneidende Schicht schob sich zusammen. An der Schnittfläche des Messers blieb ein fettiger Beschlag zurück.

- Abbildung 7 zeigt das mikroskopische Bild des m.vastus intermedius nach sechsmonatiger Immobilisation, darunter zum Vergleich der Muskel der nicht operierten Extremität (Abb.8). Es besteht eine hochgradige Verfettung der mehr runde Formen annehmenden Muskelfasern, vereinzelt zentrale Aufhellung, teils nur randständige Färbung, teils völlige Unfärbbarkeit, deutliche Verkleinerung der Faserfläche. Mit zusätzlichen Färbungen nach van Gieson und Goldner (Romeis,32) stellte sich reichlich vermehrtes Bindegewebe dar, geringgradige Rundzellinfiltration, Zunahme von Zellen im Sarkoplasma. Es zeigte sich hier das Bild einer ausgeprägten Atrophie mit fettiger Degeneration und Bindegewebsvermehrung.

Beim m.vastus intermedius, der weniger als 6 Monate immobilisiert war, erschien die Verfettung in teils größeren, teils kleineren streifigen Bezirken. Hier war es jedoch möglich, wenn die Präparation gelungen war, Flächen zu messen. Tabelle 1 faßt die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 1. m.vastus intermedius

Nr.		1	2	3	4	5
F[μ^2]	l	415o ± 43o	347o ± 35o	432o ± 53o	314o ± 4oo	5o7o ± 85o
	r	222o ± 4oo	182o ± 38o	246o ± 25o	141o ± 23o	249o ± 73o
△F%		+ 47	+ 48	+ 43	+ 55	+ 51
I		o,5	o,5	1	1	2

Nr.		6	7	1o	11
F [μ^2]	l	583o ± 58o	425o ± 6oo	444o ± 53o	538o ± 98o
	r	137o ± 3oo	25oo ± 43o	182o ± 3oo	371o ± 65o
△F%		+ 63	+ 41	+ 59	+ 31
I		2	2	2	3

Zeichenerklärung: Nr. = Kaninchen
F = mittlere Fläche mit Standardabweichung
△F% = Flächenänderung
I = Immobilisationszeit in Monaten
l = linke Extremität
r = rechte, operierte Extremität

Bereits nach vierzehntägiger Immobilisation hat sich bei den beiden Versuchstieren die mittlere Querschnittsfläche des m. vastus intermedius im Vergleich um annähernd die Hälfte verringert. Die Atrophie steigt im Verlauf der Ruhigstellung bis zu zwei Monaten bei vier Kaninchen auf knapp über die Hälfte an, zwei Tiere weisen Veränderungen wie nach vierzehn Tagen auf. Das Sarkoplasma des m.vastus intermedius vom einzigen Kaninchen mit dreimonatiger Immobilisation hat sich um ein Drittel zurückgebildet.

3.) m.semitendinosus.

Makroskopisch war der rechte m.semitendinosus deutlich verkleinert, hatte eine mehr schlanke, nur wenig ausladende Spindelform angenommen, zeigte jedoch keine dem bloßen Auge auffallende Veränderungen und setzte sich von der umgebenden Muskulatur durch seine Rotfärbung ab.

Im Mikroskop konnte schon ohne Berechnung der Flächenwerte eine Atrophie der einzelnen Fasern festgestellt werden, weiterhin eine mit längeren Immobilisationszeiten leicht vermehrte fettige Degeneration, die allerdings immer nur ähnlich wie beim m.vastus intermedius mit weniger als sechsmonatiger Immobilisation ausgeprägt war. In Tabelle 2 sind die einzelnen Meßwerte aufgeführt.

Tabelle 2. m.semitendinosus

Nr.		1	2	3	4	5
F [μ^2]	l	5150 ± 930	5580 ± 980	4770 ± 350	3370 ± 330	4120 ± 400
	r	2065 ± 530	1640 ± 330	1820 ± 480	965 ± 280	1450 ± 230
△F%		+ 60	+ 69	+ 59	+ 71	+ 65
I		0,5	0,5	1	1	2

Nr.		6	7	8	9	10
F [μ^2]	l	6130 ± 700	5380 ± 850	3930 ± 480	4870 ± 500	5620 ± 750
	r	1180 ± 380	2310 ± 400	1060 ± 250	1460 ± 150	1460 ± 300
△F%		+ 81	+ 57	+ 73	+ 70	+ 74
I		2	2	2	2	2

Nr.		11	14	16	17	18
F [μ^2]	l	4300 ± 480	3960 ± 250	3780 ± 630	5270 ± 700	4720 ± 580
	r	2090 ± 380	2340 ± 450	1720 ± 380	2560 ± 580	2570 ± 500
△F%		+ 51	+ 41	+ 54	+ 51	+ 46
I		3	6	6	6	6

Nr.		19	20	21	23	24
F [μ^2]	l	2910 ± 350	3470 ± 300	3510 ± 300	2730 ± 250	4080 ± 550
	r	1430 ± 230	1530 ± 330	1930 ± 450	2380 ± 780	1720 ± 350
△F%		+ 51	+ 56	+ 45	+ 13	+ 55
I		6	6	6	9	9

Zeichenerklärung wie S. 15

Wie beim m.vastus intermedius betrug die Flächendifferenz bereits nach vierzehntägiger Immobilisation mindestens 50 % und vergrößerte sich während der Zeit bis zu zwei Monaten auf etwa 70 %. Bemerkenswert ist der Rückgang im weiteren Verlauf der Ruhigstellung auf knapp unter die Ausgangswerte.

Die Mittelwerte weisen einen großen Streuungsbereich auf. Bei der Interpretation der absoluten Größen ist dies zu berücksichtigen. Dennoch ist hier auf einen Vergleich der mittleren Flächen hinzuweisen: beim linken m.semitendinosus liegt $\bar{F}$ bis zu I von drei Monaten über den Werten nach dieser Zeit; dagegen sind die kurzzeitigen Werte des rechten m.semitendino-

sus niedriger als die langzeitigen.

Auf Abb. 2, 3 und 8 ist erkennbar, daß die Faserflächen teils recht unterschiedlich groß sind. Damit erklärt sich die Streuung, die Werte bis zu 3o % aufweist. Die Streuung kann also annähernd als Maßstab für die Einheitlichkeit der Faserflächen angesehen werden; eine große Streuung zeigt eine große "Unruhe" in der Flächengröße an. Auch die Ergebnisse der Flächenberechnungen mit dem CLASSIMAT sprechen für diese Deutung.

4.) Flächenberechnung mit dem CLASSIMAT.

Der CLASSIMAT ist ein quantitatives Fernsehmikroskop, das von der Firma LEITZ entwickelt worden ist und u.a. für Flächenmessungen eingesetzt werden kann. Das Gerät unterscheidet verschiedene Grautöne; je nach Wahl können Flächen mit gleichen Grautönen, darüber hinaus auch Flächen, die eine übergeordnete Gruppe verschiedener Grautöne bilden, eingestellt oder ausgeblendet werden. Auf einem Monitor wird dieser Lösch- oder Darstellungsvorgang überwacht. Der CLASSIMAT berechnet nun die Gesamtfläche eines bestimmten Grautones, zählt gleichzeitig die Einzelflächen und bestimmt mittels eines angeschlossenen elektronischen Tischrechners die mittlere Fläche.

Allerdings stellt das Gerät zwei Anforderungen an ein histologisches Präparat: die einer Färbungsgruppe zugehörigen Flächen müssen sich von denen anderer Färbungsgruppen durch einen deutlichen Unterschied im Grauton, in der Färbungsintensität, abheben, und die Einzelflächen innerhalb einer Färbungsgruppe müssen durchgehend deutlich begrenzt sein.

Diese zwei Forderungen erfüllen die Sudan-Präparate nicht (S.1o)

Es war lediglich möglich, mit dem m.semitendinosus Vergleichsmessungen durchzuführen, der nur einen Fasertyp mit annähernd gleicher Färbungsintensität besitzt.

Tabelle 3 enthält die mit dem CLASSIMAT ermittelten Werte des m.semitendinosus von 1o Kaninchen.

Tabelle 3. m.semitendinosus (CLASSIMAT)

Nr.		1	2	3	6	16
F [µ²]	l	496o ± 57o	468o ± 57o	449o ± 61o	573o ± 81o	32oo ± 33o
	r	171o ± 29o	164o ± 33o	183o ± 36o	2o1o ± 26o	182o ± 27o
ΔF%		66	65	59	65	43
I		o,5	o,5	1	2	6

Nr.		17	18	19	2o	21
F [µ²]	l	498o ± 78o	456o ± 91o	3o6o ± 46o	313o ± 68o	374o ± 62o
	r	194o ± 39o	232o ± 55o	153o ± 27o	133o ± 21o	179o ± 36o
ΔF%		61	49	5o	57	52
I		6	6	6	6	6

Zeichenerklärung wie S. 15

Da auch beim m.semitendinosus die einzelnen Faserflächen nicht überall durch einen für den CLASSIMAT verwertbaren Grauton begrenzt waren, mußte das Zählen der Fasern am Monitorbild vorgenommen werden. 3oo - 5oo Fasern wurden gezählt. So erscheint es zunächst überraschend, daß die Standardabweichung nicht erheblich unter der bei der Durchmessermethode errechneten liegt. Das spricht erstens für die Annahme, der Meßfehler der Durchmessermethode sei ein statistischer Fehler, der sich bei der Mittelwertbildung heraushebt (S.9), und bedeutet zweitens, daß die Faserflächen sehr unterschiedlich groß sind.

Vergleicht man die absoluten Flächenwerte, ist ebenfalls eine Abweichung zu erkennen, die in der Regel in den Bereich der Streuung fällt.

Die mit dem CLASSIMAT (Cl) und der Durchmessermethode (D) ermittelten Flächendifferenzen werden unten gegenübergestellt, um die Unterschiede D - Cl zu verdeutlichen.

K		1	2	3	6	16	17	18	19	2o	21
ΔF%	D	6o	69	62	81	54	51	46	51	56	45
	Cl	66	65	59	65	43	6o	49	5o	57	52
D-Cl		-6	+4	+3	+16	+11	-9	-3	+1	-1	-7

Die unterschiedlichen Werte der mittleren Flächen hätten eine größere Abweichung erwarten lassen. Beim Ausmessen der Flächen mit der Hand dürfte doch eine gewisse Auswahl der Fasern getroffen worden sein, allein schon dadurch, daß gut begrenzten und damit gut meßbaren Fasern der Vorzug gegeben wurde. Ein systematischer Fehler dieser Art hat keinen oder nur geringen Einfluß auf ΔF%. Allerdings ging auch in die CLASSIMAT - Werte ein Meßfehler ein, da der Randgrauton der Fasern, wie oben festgestellt, teils gar nicht vom Grauton der Fläche unterschieden werden konnte, teils zuviel von der Faserfläche auslöschte,wenn randständig vermehrt Fett abgelagert war.

In der zusammenfassenden Beurteilung der Flächenberechnungen mit dem Fernsehmikroskop CLASSIMAT kommt man zu dem Ergebnis, daß für die vergleichenden Untersuchungen gegenüber der Durchmessermethode nur eine geringfügig größere Genauigkeit erzielt wurde. Für Berechnungen von absoluten Flächenwerten ohne vergleichende Untersuchungen ist jedoch dem CLASSIMAT der Vorzug zu geben. Ist es ausserdem erforderlich, eine große Anzahl von Flächen in kurzer Zeit zu messen, so kommt die Durchmessermethode überhaupt nicht in Frage. Allen bisherigen Methoden der Myometrie ist der CLASSIMAT durch den geringen Zeitaufwand weit überlegen. Allerdings werden geeignete Färbemethoden herangezogen werden müssen, um eine optimale Ausnutzung des CLASSIMAT zu erreichen. Zum gleichen Ergebnis kommen PONGRATZ et al (35).

Herrn Brück von der Firma Ernst Leitz GmbH München danken wir für seine Unterstützung.

5.) Muskeln mit drei Fasertypen.

Im Anhang (Tab.4, S.45) sind die gemessenen und berechneten Zahlen der Muskeln mit drei Fasertypen zusammengefaßt. Um die Beschreibung der Veränderungen bei diesen Muskeln an anschaulichen Graphiken verfolgen zu können, wurden ihre Werte in ein Koordinatensystem übertragen, wobei die X-Achse die Differenz der Flächen in Prozent und die Y-Achse die Differenz der Typenanzahl in Prozent angibt. In Quadrant 1 liegen die Fasertypen, die positive △F%- und △Z%-Werte haben. Da ein positiver Wert Abnahme bedeutet (S.9), erfaßt Quadrant 1 alle Typen, deren Gesamtfläche im Vergleich abgenommen hat. Für Quadrant 3 gilt

die Umkehrung, er erfaßt alle Typen, deren Gesamtfläche im Vergleich zugenommen hat. Um die Verhältnisse in Quadrant 2 und 4 zu klären, ist die Frage zu beantworten, wo die Punkte für diejenigen Gesamtflächen liegen, die sich im Vergleich nicht geändert haben, die trotz Zu- oder Abnahme von $\Delta F\%$ und umgekehrt $\Delta Z\%$ gleich groß geblieben sind. Gesucht ist also die Kurve, für die gilt :

$$(1) \quad \overline{F}_l \cdot Z_l = \overline{F}_r \cdot Z_r$$

Aus der Definition der Achsen erhält man

$$(2) \quad x = \frac{\overline{F}_l - \overline{F}_r}{\overline{F}_l} \cdot 100$$

und

$$(3) \quad y = \frac{Z_l - Z_r}{Z_l} \cdot 100$$

Durch Auflösen von (2) nach $\overline{F}_r$ und (3) nach Z_r und Einsetzen in (1) ergibt sich nach Umwandlung die Gleichung für die gesuchte Kurve mit

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} - \frac{1}{100} = 0$$

In den folgenden Diagrammen trennt diese Flächengleichheitskurve die rechts liegenden Fasern, deren Gesamtfläche sich verkleinerte, von den links liegenden Fasern, deren Gesamtfläche sich vergrößerte.

Auf Seite 12 wurde ausgeführt, daß für eine übersichtliche Beschreibung des Muskeltyps, charakterisiert durch den Anteil der Teilflächen A B C, die Faserverteilung allein herangezogen werden kann. Dies gilt nicht mehr für die vergleichende Untersuchung , wenn über eine grobe Beschreibung hinaus festgestellt werden soll, ob zu einem verschieden großen Prozentsatz Muskeln aus den drei Fasergruppen bestehen. Hier muß doch berücksichtigt werden, daß bei abweichenden Werten für $\overline{F}$ trotz gleichem $Z_A : Z_B : Z_C$ eine wesentlich andere Flächenverteilung resultieren kann. Man steht nun vor dem Problem, die absoluten Werte für die Berechnung der Teilflächen zu benötigen, die jedoch eine breite Streuung besitzen und eher in der Relation den wahren Werten gleichkommen, wie die Messungen mit dem CLASSIMAT gezeigt haben (S.18). Mit der Flächengleich-

heitskurve kann dieses Problem umgangen werden: je größer der Abstand von ihr wird, umso größer ist die Flächendifferenz. Ist der Abstand der Punkte A, B, C gleich, so weisen die Teilflächen eine gleichmäßige Veränderung auf, mit gleichbleibender Typencharakteristik. In jedem anderen Fall ist der Abstand von der Gleichheitskurve ein Maßstab für die Beurteilung, zu welchem Fasertyp hin Verschiebungen vorgekommen sind.

Trotz aller Bedenken sollte es im Rahmen dieser Arbeit, wo 134 Muskeln mit 3 Fasertypen vermessen wurden, nicht unterbleiben, die mit dem vorhandenen Zahlenmaterial errechenbaren prozentualen Flächenverteilungen anzugeben. Diese Werte werden den folgenden Interpretationen der Diagramme vorangestellt. Es wird weiteren Arbeiten mit einer für die absoluten Größen genaueren Meßtechnik (CLASSIMAT !) vorbehalten bleiben, diese Ergebnisse zu überprüfen.

Folgende Fragen werden bei der Besprechung der Meßwerte anhand der Diagramme beantwortet:

1.) Wie haben sich die Flächenwerte der Typen A, B, C verändert ?
2.) Hat sich die Faseranzahl der Typen A, B, C im Sinne einer Verschiebung verändert ?
3.) Wie hat sich die Gesamtfläche der Fasertypen A, B, C verändert ?
4.) Hat sich die Typencharakteristik geändert ?
5.) Wie hat sich die Gesamtquerschnittsfläche eines Muskels verändert ?
6.) Sind zeitabhängige Veränderungen festzustellen ?

Zu Frage 1 und 2 können Prozentzahlen abgelesen werden, zu Frage 3 - 5 ist der Abstand von der Gleichheitskurve ein Maß für die Beurteilung, zu Frage 6 erlaubt die gesonderte Markierung der Werte nach zwei- und sechsmonatiger Immobilisation eine Stellungnahme. Diese beiden Zeitgruppen wurden deshalb herausgegriffen und mit Vorrang beschrieben, weil dort die größere Zahl der untersuchten Kaninchen liegt. (S.55)

Die Interpretation erfolgt in alphabetischer Reihenfolge. Es folgt eine Erklärung der in den Diagrammen verwendeten Zeichen.

Zeichenerklärung:

I	2	6	±2,6
A	△	▲	◬
B	□	■	⊡
C	○	●	⊙

I = Immobilisationszeit in Monaten
FG = Flächengleichheitskurve

Interpretation Diagramm I : m.adductor magnus

Typencharakteristik A 75 - 9o %
B 8 - 15 %
C unter 1o %

Kaninchen 1, 2, 14, 16 und 22 weichen von der häufigsten Entwicklung stark ab.

Typ A :

2 Monate - Abnahme der mittleren Faserfläche um 15 % bei gleichzeitiger Zunahme der Anzahl um 2o % - Gesamtfläche unverändert

6 Monate - keine weitere Veränderung der mittleren Fläche - Wechsel in der Faserzahl - Abnahme um 15 % - Gesamtfläche verkleinert

Typ B :

2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche um 2o % und der Faseranzahl um 15 % - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - geringfügig weiterer Anstieg der Flächenverringerung - Wechsel in der Faserzahl mit Anstieg auf + 5o % - Gesamtfläche unverändert

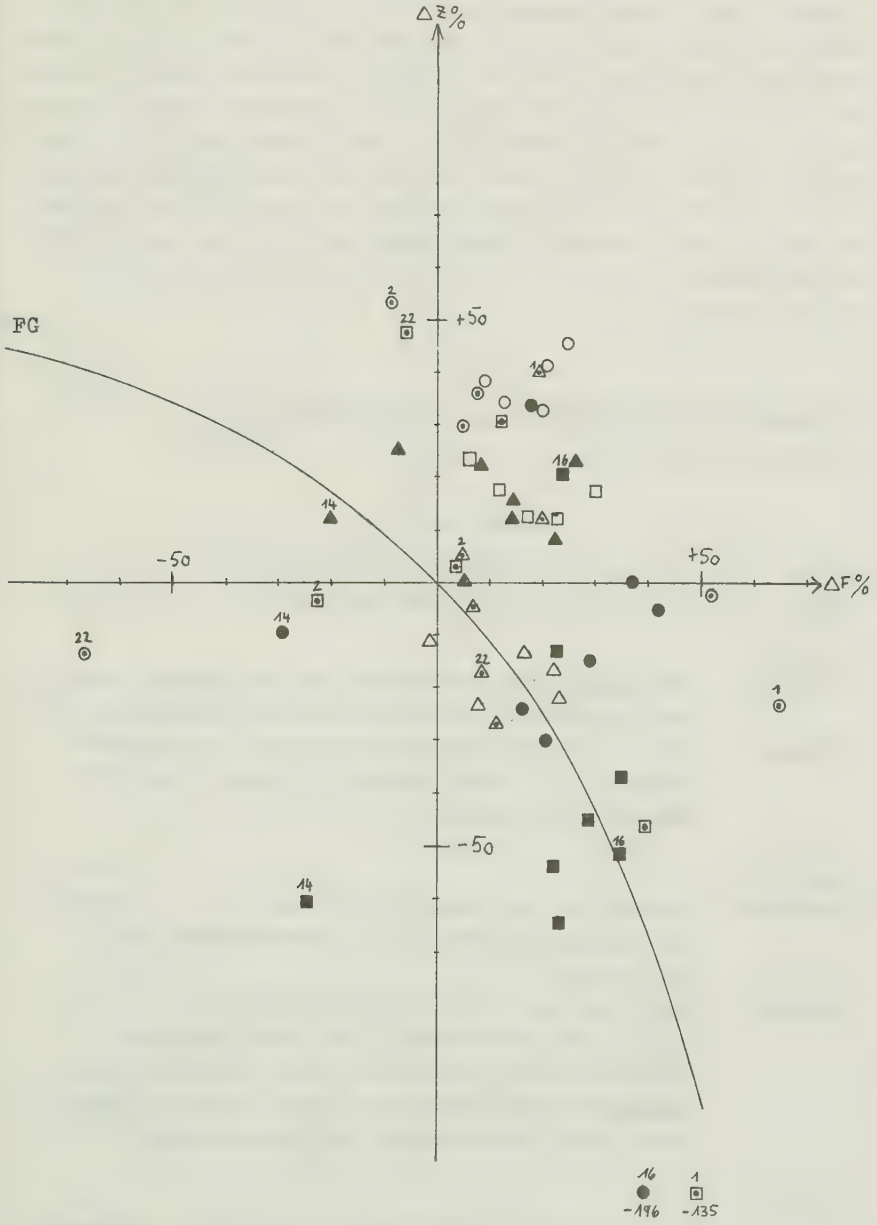
Typ C :

2 Monate - Abnahme der Faserfläche um 15 % und der Faseranzahl um 35 % - Gesamtfläche stärker verkleinert als bei Typ B

6 Monate - geringfügig weiterer Anstieg der Flächenverkleinerung - Zunahme der Faseranzahl mit sehr unterschiedlichen Werten zwischen o und 3o % - Gesamtfläche teils unverändert, teils Abnahme wie Typ A

Zusammenfassung : Die im Verlauf der Immobilisation von 2 nach

Diagramm I : m.adductor magnus



6 Monaten ansteigende Atrophie bei vergleichbarer Abnahme der mittleren Flächenwerte von Typ A, B, C verlief unter wechselnder Typencharakteristik. Nach 2 Monaten erschien die Gesamtfläche A durch eine Zunahme von Fasern unverändert, die dementsprechende Abnahme von B- und C-Fasern wirkte sich am stärksten bei C aus. Der m.adductor magnus setzt sich nach 2 Monaten aus mehr Fasern vom A-Typ zusammen, den größeren Anteil verlor Typ C. Nach 6 Monaten verschob sich die Charakteristik zu Gunsten von B und C. Typ B nahm die ursprüngliche Fläche wieder ein, während Typ A insgesamt zurücktrat. Am auffälligsten ist die von 2 nach 6 Monaten auftretende Verschiebung der Fasern um das Doppelte zu Typ B, ohne Änderung der mittleren Querschnittsfläche.

Interpretation Diagramm II : m.biceps caput breve

Typencharakteristik A 8o - 9o %
B 1o %
C unter 1o %

In dem sehr uneinheitlichen Bild, das dieser Muskel bildet, weisen Kaninchen 16 und 2o extreme Werte auf.

Typ A :

2 Monate - geringfügige Verkleinerung von mittlerer Fläche und Faseranzahl - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - keine weitere Flächenveränderung - Faseranzahl tendiert zu einem Anstieg mit Werten bis 35 %- ebenso die Gesamtfläche

Typ B :

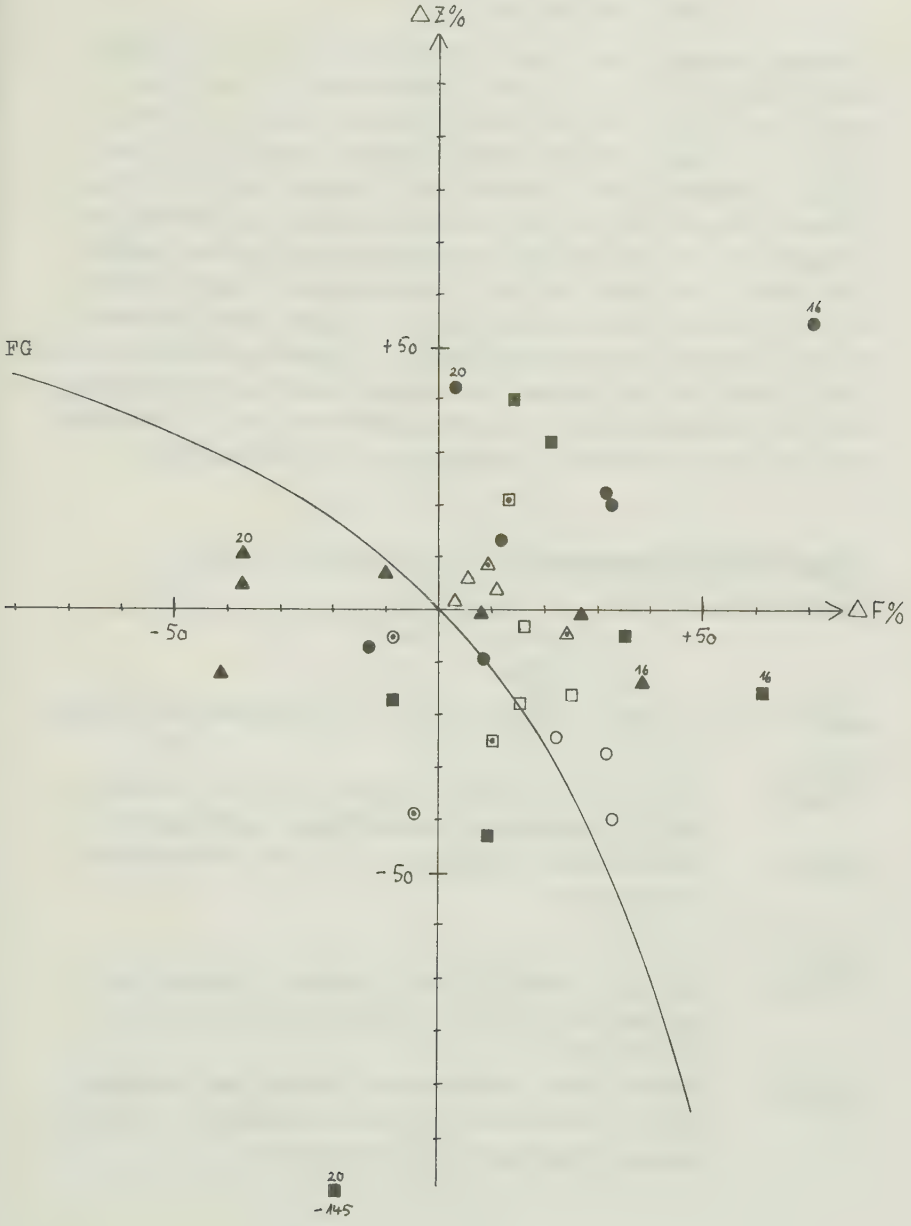
2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche um 2o % - Zunahme der Faseranzahl um 15 % - Gesamtfläche eher verkleinert

6 Monate - teils weitere Abnahme der mittleren Fläche bis zu 5o % mit Faseranzahl wie nach 2 Monaten - teils mittlere Fläche wie nach 2 Monaten mit Abnahme der Faseranzahl um 35 % - Gesamtfläche teils stark verkleinert, teils vergrößert

Typ C :

2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche um 3o % - Zunahme

Diagramm II : m.biceps caput breve



der Faseranzahl um ebenfalls 3o % - Gesamtfläche unverändert

6 Monate - sehr unterschiedliche Verkleinerung von mittlerer Fläche und Faseranzahl - Gesamtfläche jedoch verkleinert

Zusammenfassung : Die Atrophie veränderte bis zur zweimonatigen Ruhigstellung die Typencharakteristik des m.biceps caput breve nicht. Bei weiterer Immobilisation entwickeln sich sehr unterschiedliche Veränderungen, wobei Typ B und C sich im wesentlichen zurückbilden, während Typ A zu einem größeren Prozentsatz an der Zusammensetzung des Muskels beteiligt ist, die Typencharakteristik sich zu seinem Gunsten verschiebt. Die Frage, ob nach sechsmonatiger Immobilisation noch eine Atrophie bestanden hat, ist anhand des Diagramms nicht zu klären. Hervorzuheben sind : Hypertrophie der mittleren Fläche von Typ A ohne bedeutende Änderung der Faseranzahl, Verschiebung der C-Zahl von Zunahme um 3o % zu Abnahme um 2o %, ohne bedeutende Änderung der mittleren Fläche.

Interpretation Diagramm III : m.biceps caput longum

Typencharakteristik A 8o - 88 %
B 1o - 15 %
C unter 1o %

Kaninchen 4, 14 und 2o fallen aus dem allgemeinen Bild heraus.

Typ A :

2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche um 25 % - Faseranzahl unverändert - Gesamtfläche verkleinert

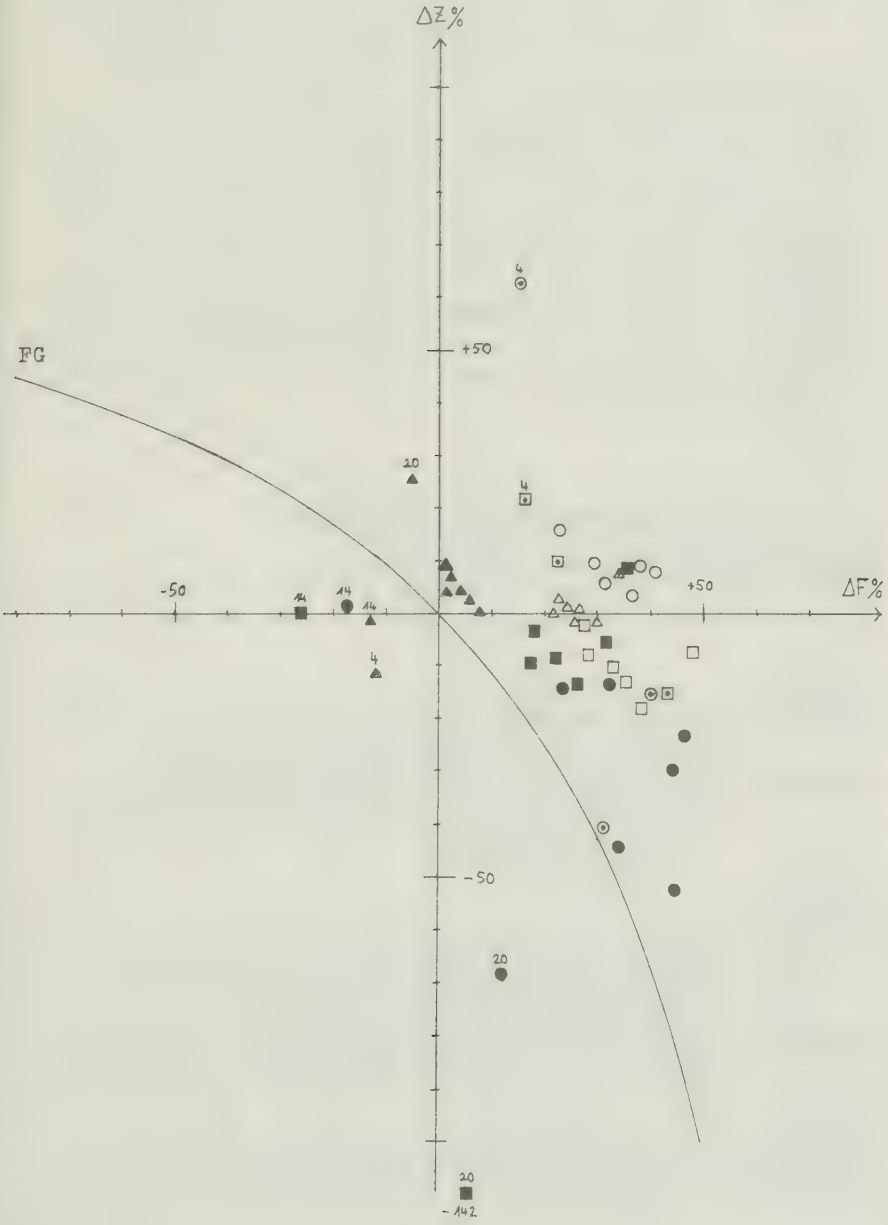
6 Monate - Ausgangswerte annähernd erreicht- Gesamtfläche unverändert

Typ B :

2 Monate - mittlere Fläche um 35 % kleiner - Zunahme der Faseranzahl um 1o % - Gesamtfläche wie Typ A verkleinert

6 Monate - Rückgang der Flächenverkleinerung auf nunmehr 25 % - Faseranzahl wie nach 2 Monaten - Gesamtfläche größer als nach 2 Monaten

Diagramm III : m. biceps caput longum :



Typ C :

2 Monate - Flächenverringerung um 35 % - Abnahme der Faseranzahl um 1o % - Gesamtfläche stärker als bei A und B verkleinert

6 Monate - Flächenänderung wie nach 2 Monaten - Zunahme der Fasern zwischen 2o und 5o % (!) - Gesamtfläche gleichmäßig mit Typ A und B zurückgegangen

Zusammenfassung : Die Atrophie des m.biceps caput longum zeigte sich nach zweimonatiger Immobilisation in einer gleichmäßigen Zurückbildung der A- und B-Flächen, während Typ C in größerem Maß Fläche aufgab. Nach sechs Monaten hat sich diese Änderung der Typencharakteristik wieder ausgeglichen, eher überwiegen B und C. Die stärkste Veränderung mit Zunahme der Faserzahl um 5o % gab es bei Typ C. Bemerkenswert ist die mit fortschreitender Immobilisation rückläufige Verkleinerung der mittleren Fläche von Typ A, ohne wesentliche Änderung des zahlenmäßigen Vorkommens.

Interpretation Diagramm IV : m.rectus femoris

Typencharakteristik		
	A	8o - 9o %
	B	5 - 15 %
	C	unter 1o %

Typ A :

2 Monate - Abnahme von mittlerer Fläche und Anzahl mit Werten um 1o % - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - bei gleicher Flächenverkleinerung Zunahme der Faseranzahl um 2o % - Gesamtfläche größer als vor der Ruhigstellung

Typ B :

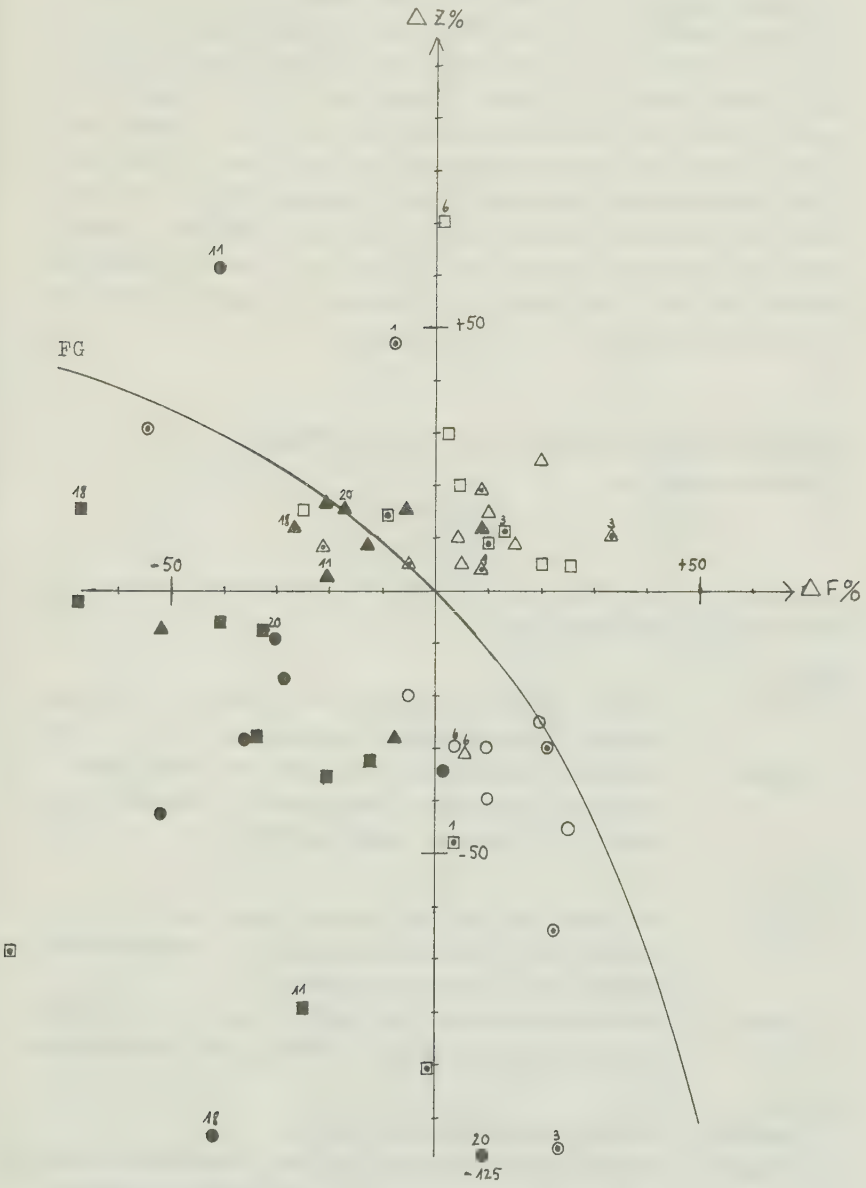
2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche bis zu 25 % - Abnahme der Faseranzahl bis zu 3o % - relative Gesamtflächenverkleinerung wie bei Typ A

6 Monate - durch Faserhypertrophie und Zunahme der Faserzahl um 3o % starke Vergrößerung der Gesamtfläche

Typ C :

2 Monate - Verkleinerung der mittleren Fläche wie bei Typ A

Diagramm IV : m.rectus femoris



und B - Zunahme der Faseranzahl um 3o % - Gesamtfläche vergrößert

Zusammenfassung : Nach zweimonatiger Immobilisation besteht eine gleichmäßige, geringe Atrophie der mittleren Flächen. Durch Verschiebung der Fasern zu Typ C ist er nach dieser Zeit sowohl relativ als auch absolut mit einer größeren Gesamtfläche an der Zusammensetzung des m.rectus femoris beteiligt. Nach sechmonatiger Immobilisation ist die Gesamtquerschnittsfläche vergrößert, die Typencharakteristik ist durch einen höheren Prozentsatz an B- und C-Flächen gekennzeichnet. Die Hypertrophie hat in der mittleren Flächenvergrößerung aller drei Typen ihre Ursache, A-Fasern nehmen die Charakteristik von B- und C-Fasern an.

Interpretation Diagramm V : m.semimembranosus

Typencharakteristik	A	65 - 8o %
	B	1o - 2o %
	C	1o - 15 %

Kaninchen 3, 16, 17, 21 und 23 weichen sehr stark von der häufigsten Entwicklung ab.

Typ A :

2 Monate - mittlere Fläche um 3o % verkleinert - 1o % mehr Fasern - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - unterschiedliche Verschiebung der Werte für mittlere Fläche und Faseranzahl - Gesamtfläche einheitlich gering zurückgebildet

Typ B :

2 Monate - Verringerung der mittleren Fläche um 45 % - Abnahme der Faseranzahl um 2o % - Gesamtfläche stärker als bei A verkleinert

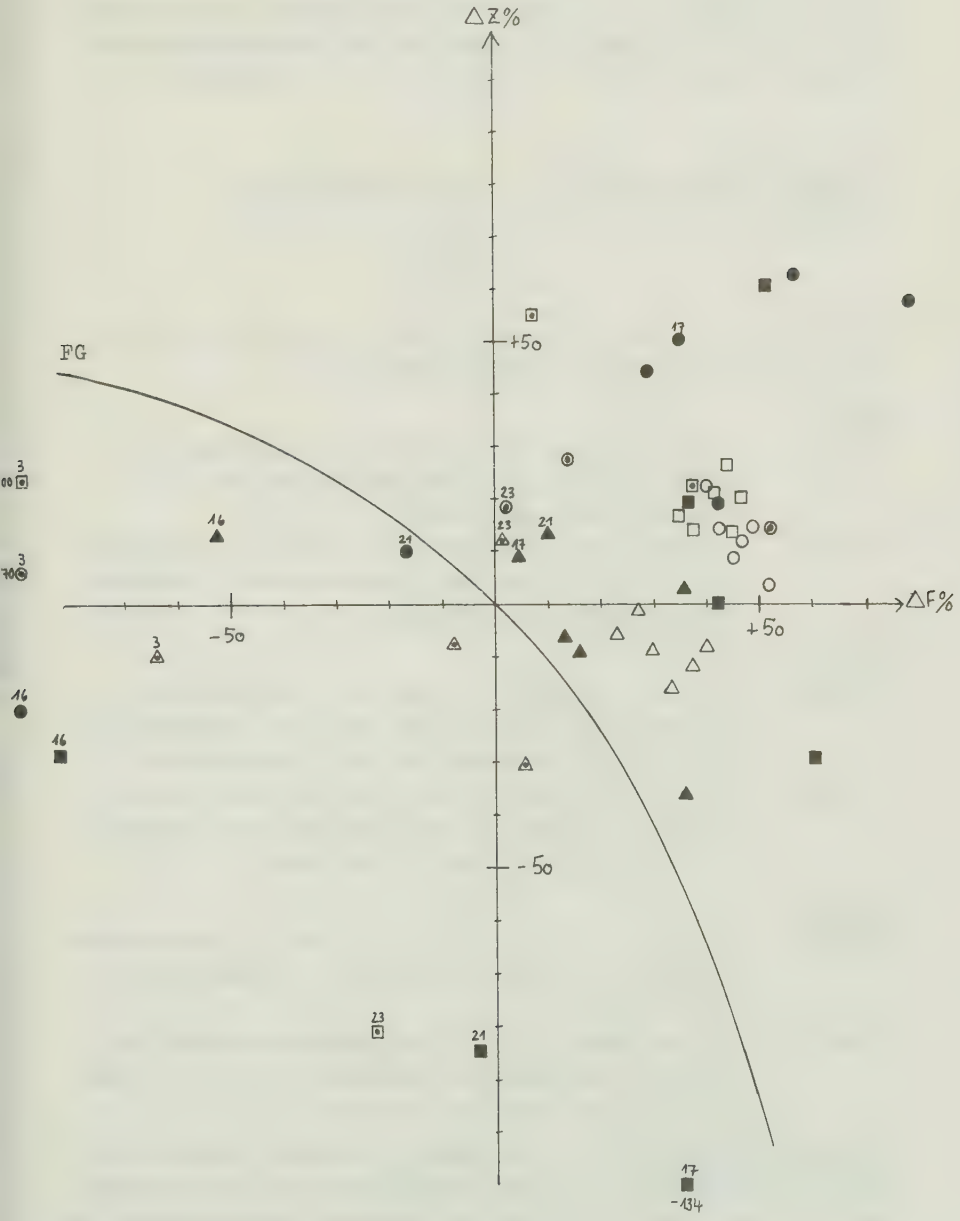
6 Monate - sehr unterschiedliche Entwicklung mit annähernd gleichbleibender Verkleinerung der Gesamtfläche

Typ C :

2 Monate - Veränderungen wie bei Typ B

6 Monate - sehr starke Zurückbildung der Gesamtfläche durch Abnahme von mittlerer Fläche und Faseranzahl um 5o %

Diagramm V : m.semimembranosus



Zusammenfassung : Nach zweimonatiger Immobilisation besteht eine Atrophie mit Verschiebung der Typencharakteristik zu A. Das Verhältnis B : C bleibt unverändert. Bis zu sechsmonatiger Ruhigstellung bildet sich die C-Fläche stark zurück, bei A und B entwickelt sich keine weitere bedeutende Veränderung. C-Fasern verlieren um 5o % Fläche und Anzahl.

Interpretation Diagramm VI : m.tibialis anterior

Typencharakteristik	A	65 - 8o %
	B	15 - 2o %
	C	1o - 2o %

Kaninchen 18 und 23 werden wegen ihrer abweichenden Entwicklung aus der Beurteilung ausgeklammert.

Typ A :

2 Monate - Verkleinerung der mittleren Faserfläche von 1o - 3o % - Abnahme der Faseranzahl bis zu 1o % - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - weitere Verkleinerung der mittleren Fläche bis zu 45 % - Faseranzahl gleichbleibend - Gesamtfläche weiter verkleinert

Typ B :

2 Monate - mittlere Faserfläche wie bei A verkleinert - Zunahme der Faserzahl bis zu 1o % - Gesamtfläche geringfügig schwächer als bei A verkleinert

6 Monate - mit unbedeutend weiterer Flächenverkleinerung weitere Zunahme der Faserzahl um 3o % - Gesamtfläche entspricht dem Ausgangswert

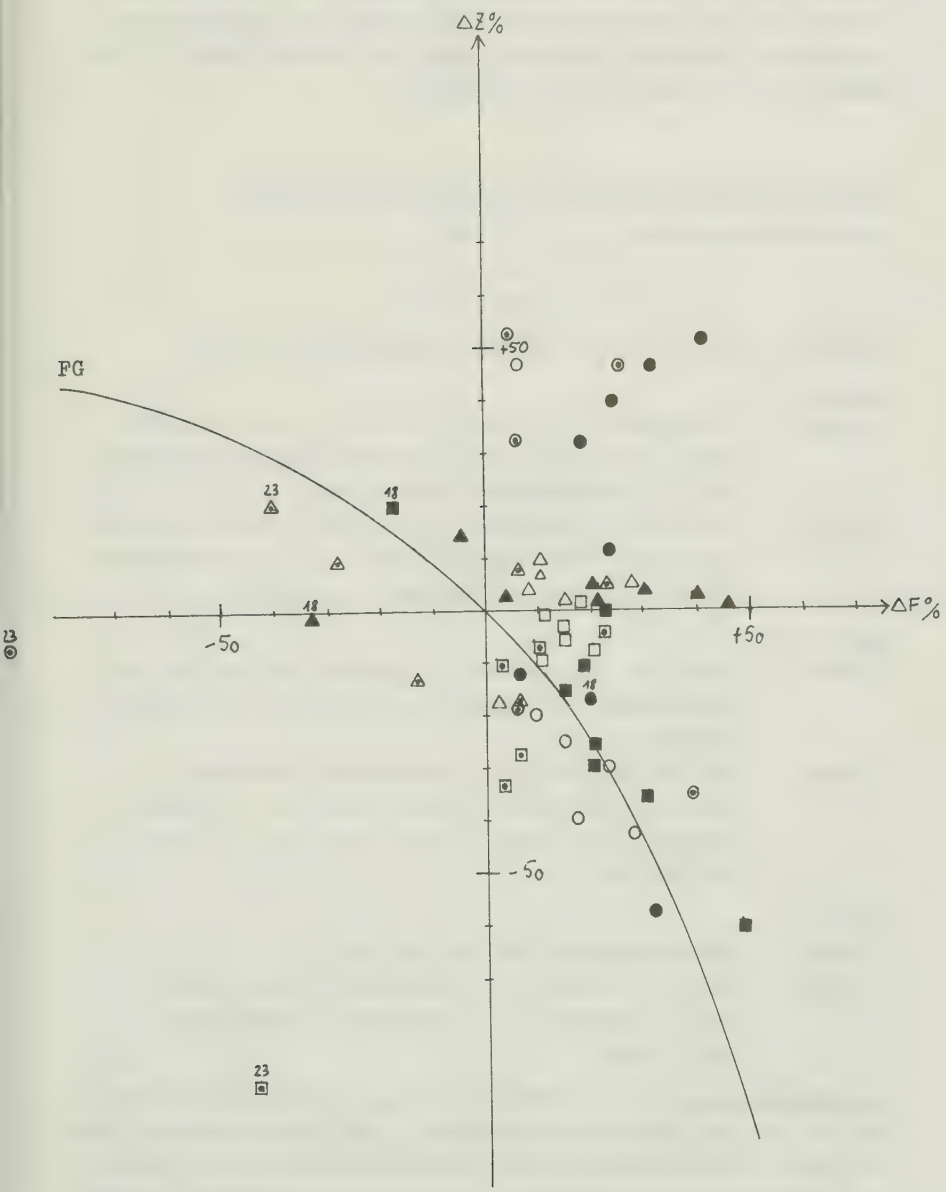
Typ C :

2 Monate - Abnahme der Fläche wie bei A und B - Zunahme der Faserzahl zwischen 2o und 4o % - Gesamtfläche unverändert

6 Monate - krasse Umwandlung zu Flächenverkleinerung auf 3o % und Abnahme der Faserzahl um 4o % - Gesamtfläche sehr stark verkleinert

Zusammenfassung : Bis zur zweimonatigen Immobilisation bildeten die mittleren A-, B- und C-Flächen sich gleichförmig zurück. Durch eine Vermehrung der C-Fasern um 3o % behält die

Diagramm VI : m.tibilalis anterior



C-Fläche ihren Ausgangswert und bestimmt die Typencharakteristik. Nach sechsmonatiger Ruhigstellung verlieren bis zu 5o % C-Fasern ihre starke Anfärbbarkeit. Die Typencharakteristik ist durch eine starke Abnahme von C und eine Zunahme von B gekennzeichnet. Im Verlauf der Atrophie des m.tibialis anterior verringert sich die Gesamtfläche A ohne wesentliche Veränderung der Faserzahl.

Interpretation Diagramm VII : m.vastus lateralis

Typencharakteristik	A	7o - 8o %
	B	15 - 2o %
	C	unter 1o %

Kaninchen 4 und 22 weisen stark streuende Werte auf.

Typ A :

2 Monate - Abnahme der mittleren Fläche zwischen 1o und 4o % - Zunahme der Faseranzahl zwischen 1o und 3o % - Gesamtfläche verkleinert

6 Monate - geringer Rückgang der mittleren Flächenabnahme- Abnahme der Faseranzahl um 1o % - Gesamtfläche stärker als nach 2 Monaten verkleinert

Typ B :

2 Monate - mittlere Fläche und Faseranzahl von 1o bis 3o % verkleinert - Gesamtfläche stärker verkleinert als bei A

6 Monate - geringfügig weitere Flächenverkleinerung - Zunahme der Fasern von 2o bis 4o % - Gesamtfläche nicht mehr so stark wie nach 2 Monaten verkleinert

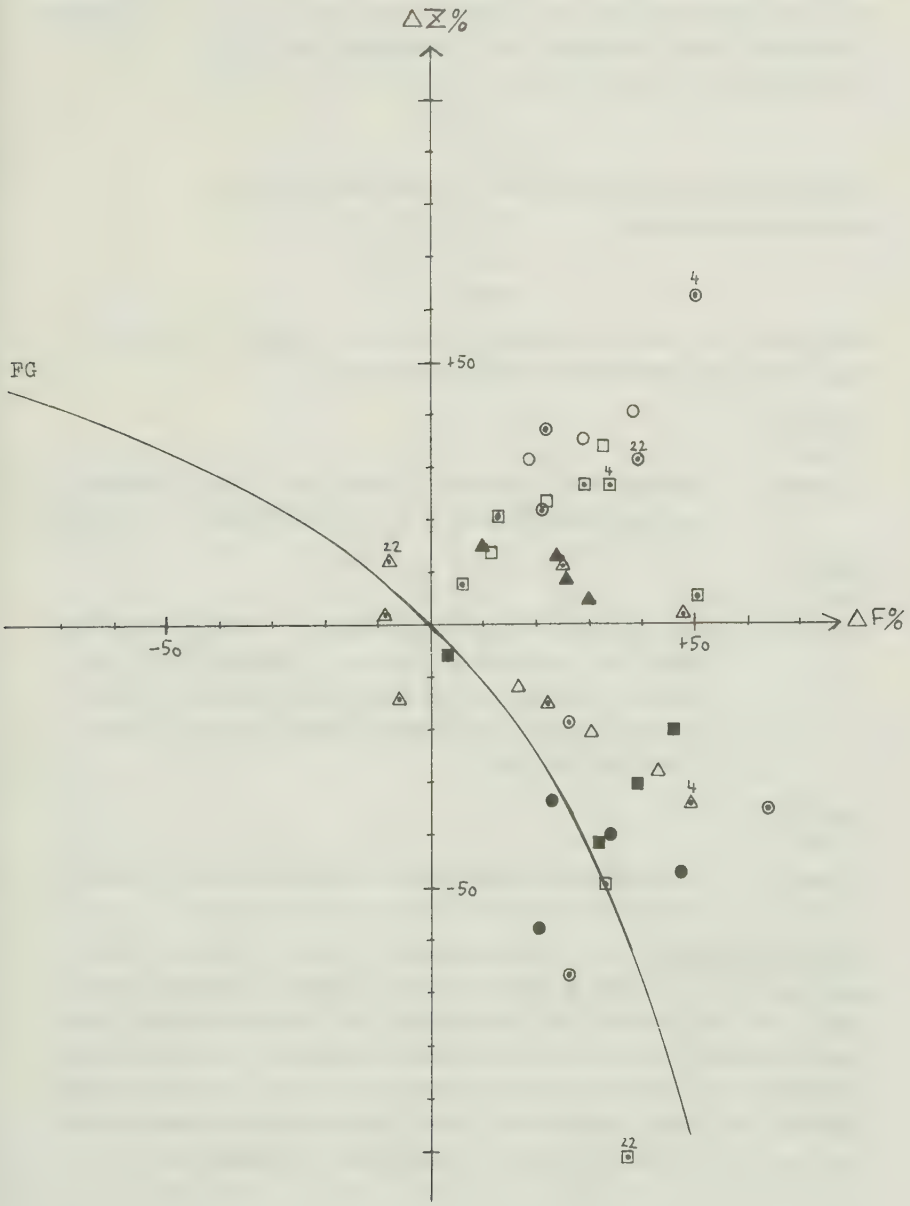
Typ C :

2 Monate - Veränderungen ähnlich wie bei B

6 Monate - mittlere Fläche nicht stärker verkleinert - durch Zunahme der Faseranzahl Gesamtfläche wie links

Zusammenfassung : Im Verlauf der Ruhigstellung atrophieren die A-, B- und C-Fasern gleichmäßig, ohne daß zwischen 2 und 6 Monaten ein wesentlicher Unterschied besteht. Der Verlust der Anfärbbarkeit verschiebt sich nach zweimonatiger Immobi-

Diagramm VII : m.vastus lateralis



lisation in Richtung auf Typencharakteristik A, was gleichermaßen auf Kosten von B- und C-Fasern geht. Nach sechsmonatiger Ruhigstellung stellen sich mehr B- und vor allem C-Fasern dar. Die Gesamtfläche von C entspricht der im linken m.vastus lateralis. Somit wechselt die Typencharakteristik, gekennzeichnet durch einen Anstieg von B und vor allem C.

Interpretation Diagramm VIII : m.vastus medialis

Typencharakteristik	A	75 - 85 %
	B	1o - 2o %
	C	unter 1o %

Kaninchen 16, das eine ausgeprägte Hypertrophie dieses Muskels aufweist, wird nicht berücksichtigt.

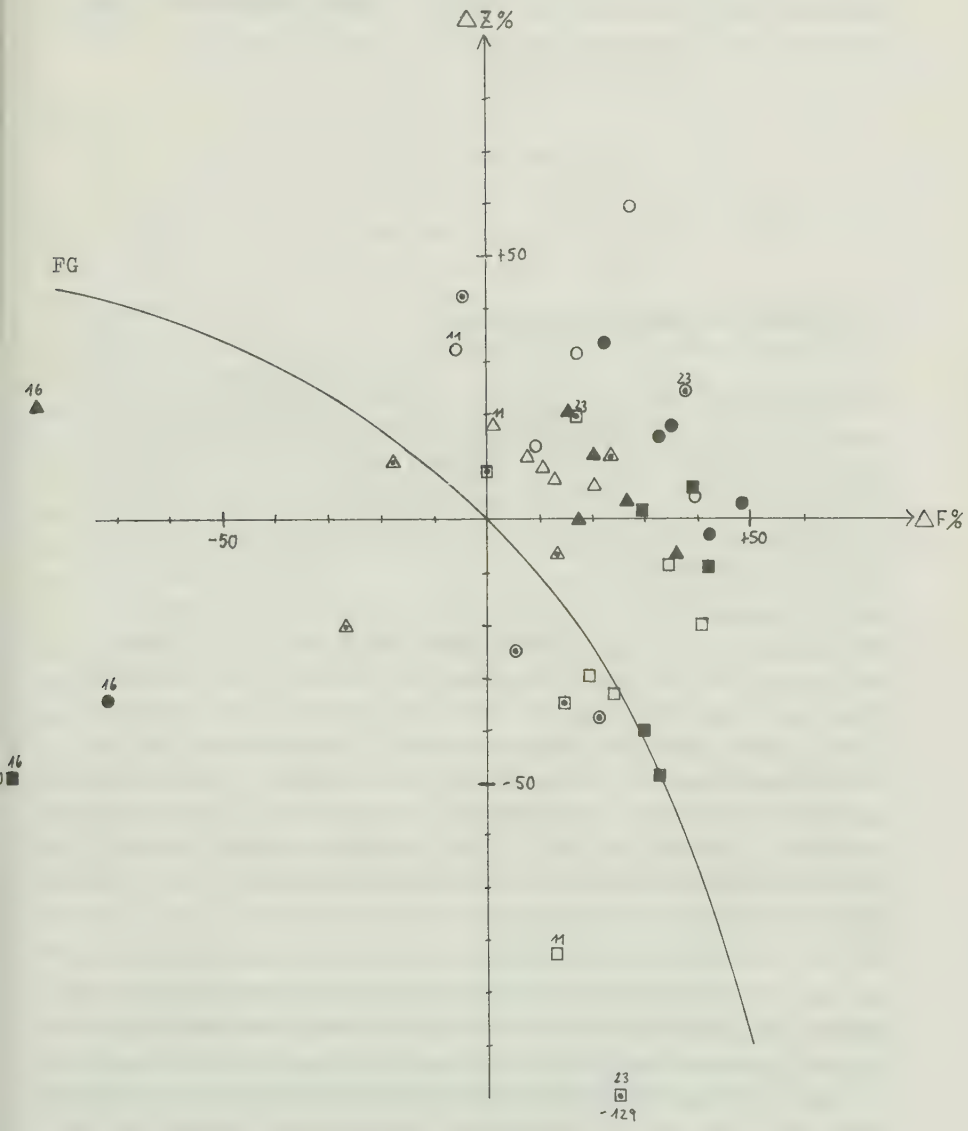
Typ A :
2 und
6 Monate - Abnahme der mittleren Fläche um 15 % - Zunahme der Faseranzahl um 1o % - Gesamtfläche verkleinert

Typ B :
2 und
6 Monate - unterschiedliche Veränderungen - teils durch Zunahme der Faseranzahl um 4o % Gesamtfläche wie links, teils durch geringe Änderung der Faseranzahl bei Verkleinerung der mittleren Fläche Atrophie wie bei A

Typ C :
2 und
6 Monate - stark streuende Werte - jedoch stärkere Verkleinerung der Gesamtfläche als bei A und B

Zusammenfassung : Nach sechsmonatiger Immobilisation entsprechen die mit der Atrophie einhergehenden Veränderungen annähernd den Werten nach zweimonatiger Immobilisation. Die Typencharakteristik ist durch einen Rückgang von C gekennzeichnet, bei teils gleichem Verhältnis A : B, teils starkem Anstieg von B mit Werten wie beim linken m.vastus medialis. Die A-, B-, C-Einzelflächen atrophieren gleichmäßig.

Diagramm VIII : m.vastus medialis



Anmerkung zu den Interpretationen :

Wenn von Zu- oder Abnahme der Faseranzahl eines Typs gesprochen wird, so ist immer die entsprechende Veränderung der anderen Typen mit zu berücksichtigen. Da die Gesamtzahl der Muskelfasern weitgehend konstant ist, handelt es sich um eine relative Zu- oder Abnahme, um eine Umwandlung eines Fasertyps in einen anderen.

D Zusammenfassung mit Diskussion

WALCHER und STÜRZ (31) gingen in Versuchen an Kaninchen der Frage nach, ob Immobilisation eines Gelenkes mit gleichzeitiger Druckbelastung zum knöchernen Durchbau führt. Ein dazu transartikulär gelegter Stahldruckbolzen stellte das Kniegelenk absolut ruhig. Zur Vermeidung von Frakturen wurde der Unterschenkel amputiert.

Bei 22 Kaninchen wurde der Einfluß dieser totalen Immobilisation auf die Hinterbeinmuskulatur untersucht. Die Ruhigstellungszeiten betrugen 14 Tage bis 9 Monate. Auf den Zeitraum von 2 Monaten entfielen 6 Tiere, auf den von 6 Monaten 8. Bei jedem Versuchstier wurden aus 9 Oberschenkel- und 6 Unterschenkelmuskeln der rechten wie der linken hinteren Extremität Proben entnommen und mit Sudanschwarz B routinemäßig angefärbt. Für den Vergleich der Faserquerschnittsflächen zwischen linker und rechter Hinterbeinmuskulatur wurden Messungen nach der Durchmessermethode ausgeführt.

Bis auf den m.semitendinosus und m.vastus intermedius stellten sich die Muskelquerschnitte in der Art eines Schachbrettmusters dar, wobei drei Fasertypen unterschieden werden konnten: ein sehr schwar angefärbter, ein mäßig angefärbter und ein sehr stark angefärbter. Mit SCHMALBRUCH (2o), der in neuester Zeit die gleiche Einteilung durchführte, wurden sie Typ

A, B und C genannt. Zwei weitere Kriterien kennzeichnen diese drei Typen, die somit drei Merkmale aufweisen :

Typ A : 1.) Anfärbbarkeit (Sudanschwarz B) sehr schwach,
2.) Faserquerschnittsfläche größer als B und C,
3.) Anzahl im Muskel höher als bei B und C.

Typ B : 1.) Anfärbbarkeit mäßig,
2.) Faserquerschnittsfläche zwischen A und C,
3.) Anzahl im Muskel zwischen A und C.

Typ C : 1.) Anfärbbarkeit sehr stark,
2.) Faserquerschnittsfläche kleiner als A und B,
3.) Anzahl im Muskel geringer als bei A und B.

Typ B nimmt also mit allen drei Kriterien eine Mittelstellung ein, während Typ A und B die Gegenpole bilden.

Die mm.vasti intermedii und mm.semitendinosi unterscheiden sich von den anderen Muskeln dadurch, daß ihre Querschnittsflächen ein einheitliches Bild bieten, ohne Dreiteilung der Fasern, ohne ausgeprägte Größendifferenzierung. Die Fasern färben sich sehr schwach an, entsprechen der Färbecharakteristik des Typ A. Auch makroskopisch nehmen diese beiden Muskeln eine Sonderstellung ein, indem sie sich in situ von der umgebenden Muskulatur durch eine deutliche Rotfärbung abheben. Da dem m.semitendinosus tonische Funktion nachgewiesen wurde (3), könnte man die Gleichung aufstellen rot = tonisch = fettarm. Auf der anderen Seite steht die Beschreibung, daß rote Muskelfasern kleiner Säugetiere dem Fasertyp C gleichen, fettreich sind, während die weißen Fasern dem Typ A entsprechen, fettarm sind (6)(33)(34). Es wird jedoch von verschiedenen Autoren (19)(2o) festgestellt, daß zwischen der Funktion eines Muskels, die durch lange oder kurze Kontraktionszeiten gekennzeichnet ist, und seinen histochemischen oder makroskopisch-morphologischen Eigenheiten keine allgemein gültige Beziehung besteht. Der eigene Befund ist ein Beitrag zur Diskussion, inwieweit Gleichsetzungen dieser Art Gültigkeit haben und spricht eher für eine zurückhaltende Einstellung.

Die Anatomie der Hinterbeinmuskulatur des Kaninchens ist nicht ganz mit der des Menschen vergleichbar. So hat von den Oberschenkelmuskeln nur der m.vastus intermedius, medialis und

lateralis alleinige Funktion auf das Kniegelenk; auch der kurze Kopf des m.biceps entspringt am knöchernen Becken, distal vom langen Kopf am tuber ischiadicum. Der m.adductor magnus wirkt wie beim Menschen allein aufs Hüftgelenk. Auch die mm.semitendinosus, rectus femoris und semimembranosus sind zweigelenkig. Somit wurden durch die Unterschenkelamputation und Kniegelenksfixation nebend er gesamten Unterschenkelmuskulatur von den untersuchten Muskeln des Oberschenkels alle drei vasti völlig immobilisiert.

In der Beschreibung der Muskelveränderungen, dieim Verlauf der Immobilisation auftraten, ist die Unterschenkelmuskulatur an den Anfang zu stellen. Hier traten myopathische Reaktionen auf, die gekennzeichnet sind durch atrophisch-hypertrophische Fasern mit Abrundungstendenz, mittelständiger Kernvermehrung, Vakuolenbildung und granulärem Zerfall, endomysiale Bindegewebsvermehrung, perivaskulär ausgehende Rundzellinfiltration ohne wesentliche Leukozytenbeteiligung. Diese Gewebsveränderungen in der Unterschenkelmuskulatur nach Kniegelenksfixation und Unterschenkelamputation lassen die Deutung als posttraumatische, nicht eitrige Polymyositis zu. Eine Ausnahmestellung nimmt der m.tibialis anterior ein, der nur in einem Fall entzündlich verändert war. - Zum Vergleich mit diesen Befunden können vor allem die Arbeiten von McMINN und VRBOVA herangezogen werden (22)(23)(24), die ähnliche degenerative Veränderungen beschreiben, allerdings ohne wesentlichen entzündlichen Charakter und nach Tenotomie, also nach völliger Muskelentspannung; phasische Muskeln (m.peroneus) zeigen keine wesentlichen Veränderungen. Ob die Befunde der eigenen Untersuchungen auf die Immobilisation, auf die myoplastische Stumpfversorgung, auf Wundinfektionen, oder aber auf eine Kombination dieser Faktoren zurückzuführen sind, konnte nicht mit Sicherheit geklärt werden. Auch das Ergebnis, daß zwar der phasische m.tibialis anterior weitgehend frei bleibt von myopathischen Veränderungen, nicht aber der phasische m. peroneus, muß mehr feststellend als erklärend geschildert werden. Möglicherweise spielt hier die Situation nach der Unterschenkelamputaion eine Rolle, in der das prätibiale Muskelpolster dem Kaninchen in Ruhe und Bewegung als Auflagefläche diente.

Von den zwei A-Faser-Muskeln unterlag der m.vastus intermedius

einer fettigen Degeneration, die nach kurzzeitiger Ruhigstellung herdförmig auftrat und mit steigender Immobilisationsdauer den ganzen Muskel in einer Art veränderte, daß er schon makroskopisch eher einem fettdurchsetzten Bindegewebsstrang glich. Bis zu dreimonatiger Ruhigstellung war die mittlere Faserfläche um die Hälfte kleiner als beim Vergleichsmuskel der nicht operierten Extremität.

Der m.semitendinosus verfettete ebenfalls, zeigte allerdings nie den Degenerationsgrad des m.vastus intermedius. Die vergleichenden Messungen ergaben das zunächst überraschende Ergebnis, daß die Atrophie bis zu zwei-, dreimonatiger Immobilisation stärker ausgeprägt war als nach sechs Monaten und mehr. Zur Erklärung können drei Beobachtungen herangezogen werden :

- das rechte Hinterbein wurde nach der Operation nicht völlig geschont, sondern im weiteren Verlauf zur Bewegungsunterstützung mit eingesetzt,
- das nicht operierte Bein wurde in einer Innenrotationsstellung gehalten,
- die Hypertrophie der Fasern des linken m.semitendinosus nimmt mit Dauer der Immobilisation ab, die atrophischen Fasern des rechten m.semitendinosus werden mit Dauer der Immobilisation größer.

Es trat also eine Verlagerung der Beanspruchung auf das linke Bein auf (Innenrotation, anfangs Hypertrophie), die in gleichem Maß zurückging, wie das operierte Bein wieder zur Bewegungsunterstützung mit eingesetzt wurde (nach anfänglicher Atrophie wieder Zunahme der Faserstärke). So wurden auch beim rechten m.semitendinosus nach zweimonatiger Immobilisation sehr hohe Werte von 6o-7o% für die Atrophie gefunden, die sich nach sechsmonatiger Immobilisation auf 5o % verringerte.

Dieser Befund erfordert zwei weitere Feststellungen :

1.) Die Veränderungen nach zwei Monaten sind die eigentlichen Inaktivitätsveränderungen, die Veränderungen nach sechs Monaten sind "Anpassungsveränderungen".

2.) Die Veränderungen müssen das Attribut "vergleichend" oder "relativ" erhalten.

Die Firma Leitz GmbH München ermöglichte es, Faserflächenmessungen mit einem neu entwickelten Gerät, dem CLASSIMAT, auszuführen. Für dieses quantitative Fernsehmikroskop, wie es auch genannt wird, bot die Sudanschwarz B-Färbung eine zu geringe Typendifferenzierung. Lediglich der m.semitendinosus konnte ausgewertet werden. Wenn man diese Ergebnisse mit denen der Durchmessermethode vergleicht, können zwei Hauptbefunde herausgestellt werden:

1.) die relativen Werte unterscheiden sich geringfügig,
2.) die absoluten Werte differieren bis zu 2o %.

1. und 2. scheinen nicht im Einklang miteinander zu stehen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß bei der Durchmessermethode eine gleichmäßige subjektive Auswahl der zu vermessenden Fasern getroffen worden ist, die auf die Differenzwerte, die relative Veränderung geringen Einfluß hat. Auch dieser Befund spricht dafür, zur Beschreibung der Atrophieverhältnisse die Relationen zugrunde zu legen, die von einer anderen Meßmethode her bestätigt wurden.

Die relativen Veränderungen der Muskeln mit drei Fasertypen wurden in ein Koordinatensystem mit x= $\Delta F\%$ und y= $\Delta Z\%$ übertragen, die Flächengleichheitskurve berechnet und eingezeichnet. Diese übersichtliche Zusammenstellung ermöglichte es, mit den relativen Werten Atrophie oder Hypertrophie, sowohl insgesamt als auch getrennt nach Typ A, B und C, und darüber hinaus Änderungen in der Zusammensetzung des Muskels aus den drei Fasertypen zu beschreiben. Für den Anteil von A, B, C am Muskel wurde der Begriff Typencharakteristik angewandt. Die herausragenden Befunde sind :

1.) die Typencharakteristik ändert sich mit steigender Dauer der Ruhigstellung nicht in gleichem ansteigenden Maß. Die Veränderung der Typenverteilung nach zweimonatiger Immobilisation entspricht in der Regel nicht der nach sechsmonatiger Ruhigstellung,

2.) der m.rectus femoris hypertrophiert.

Die erneute Änderung der Typencharakteristik von zwei nach sechs Monaten war nach den Befunden beim m.semitendinosus zu erwarten und wird wie bei diesem Muskel erklärt. Im einzelnen konnte nach zweimonatiger Immobilisation beim m.adductor magnus,

m.biceps caput longum, m.semimembranosus, m.vastus lateralis und m.vastus medialis festgestellt werden, daß vor allem die fettreichen Fasern (Typ C) zu einem geringeren Anteil vorhanden waren. Dagegen traten sie beim m.rectus femoris und m.tibialis anterior zu einem größeren Prozentsatz auf. Die Typencharakteristik des m.biceps caput breve hatte sich nicht verändert. Nach sechsmonatiger Immobilisation wies der m.adductor magnus eine größere B-Gruppe auf, der m.vastus lateralis eine größere C-Gruppe, beim m.rectus femoris hatten weiterhin vermehrt Fasern die Charakteristika von B und C angenommen. Der m.tibialis anterior verlor C-Fasern, der m.biceps caput breve und der m.semimembranosus zusätzlich B-Fasern. Die Typencharakteristik des rechten m.biceps caput longum entsprach der des linken.

Grundsätzlich könnte die Änderung der Typenmerkmale auf zwei Wegen zustande gekommen sein. Entweder durch Faserflächenvergrößerung oder -Verkleinerung mit zwar gleichbleibender Menge an Fettsubstanzen aber relativer entsprechender Veränderung, oder aber durch vermehrten Lipid- und Lipoid-Abbau, bzw.-Einlagerung. Die eigenen Befunde lassen eher die Annahme zu, daß der Fettgehalt der Muskulatur sich veränderte.

Die Hypertrophie des m.rectus femoris dürfte ihre Erklärung darin finden, daß durch den Ausfall der Kniegelenksfunktion im Hüftgelenk zur Fortbewegung stärker antevertiert werden mußte, der m.rectus femoris einer stärkeren Beanspruchung ausgesetzt war.

Beim zusammenfassenden Vergleich der Veränderungen an der Oberschenkelmuskulatur ist vor allem darauf einzugehen, daß der m.vastus intermedius fettig degenerierte, nicht aber die mm.vastus medialis und vastus lateralis, die wie er nur auf das Kniegelenk wirken. Der m.vastus intermedius wurde bei der Operation durch den Fixationsbolzen verletzt, die Degeneration könnte darin ihre Ursache haben. Es wäre dann aber zu erwarten, daß der ebenfalls beschädigte m.rectus femoris ähnliche Degenerationserscheinungen zeigt, was nicht der Fall ist. Darüber hinaus unterlag der m.semitendinosus der gleichen Degeneration, wenn auch nicht im gleichen ausgeprägten Maß. Da dieser Muskel dorsal am Femur verläuft, kann ein Operationstrauma ausgeschlossen werden. Es bleibt somit festzustellen, daß

die beiden einzigen A-Faser-Muskeln fettig degenerierten,

ausgeprägter der eingelenkige m.vastus intermedius als der zweigelenkige m.semitendinosus. Es ist nicht auszuschließen, daß dieser besondere Muskeltyp auf Immobilisation eher mit fettiger Degeneration reagiert als der Dreifasertyp.

Die Veränderungen der eingelenkigen Muskeln vastus medialis und lateralis fallen nicht aus dem Rahmen der Veränderungen bei der zweigelenkigen Oberschenkelmuskulatur. Dieser Befund erinnert an Untersuchungen von BAUMANN und BEHR (36), die nach Arthrodese des Hüftgelenks nur eine sehr geringe Inaktivitätsatrophie der Hüftmuskulatur fanden, ohne elektromyographische Degenerationserscheinungen. Das Innervationsschema entsprach im Gehen wie im Stehen annähernd dem des gesunden Beines. PAUWELS (37) hatte der Skeletmuskulatur über ihre Bedeutung für die Bewegungsabläufe eine "Zuggurtungs-"Bedeutung zugesprochen, worunter er das Verhindern von Fehlstellungen und Knochenatrophie verstand. Der eigene Befund entspricht diesen Beobachtungen, daß ruhig gestellte Muskulatur keiner hochgradigen Atrophie oder gar Degeneration unterliegen muß, sie wird auch weiterhin in Komplexmustern innerviert und kann somit ihre Zuggurtungsfunktion erfüllen.

Die eigentlichen und wesentlichen Inaktivitätsveränderungen der Dreitypenmuskulatur des Oberschenkels sind somit

- neben der relativen Atrophie aller drei Fasern
- die Abnahme der Färbecharakteristik von B- und vor allem C-Fasern, die Umwandlung zu A-Fasern.

Eine Sonderstellung nimmt der m.rectus femoris ein, bei dem sich mehr A-Fasern zu B- und C-Fasern umwandeln; wahrscheinlich ist diese Sonderstellung durch die Hypertrophie zu erklären, die allein bei diesem Muskel auftrat. Möglicherweise spielt auch die Beschädigung durch den transartikulären Fixationsbolzen eine Rolle, die wahrscheinlich auch beim m.tibialis anterior den Verlust der endomysialen Fettpartikelchen erst nach längerer Immobilisation bewirkte. Die Veränderungen nach längerer, mehr als zweimonatiger Immobilisation, die Anpassungsveränderungen genannt wurden, zeigten sich bei der Oberschenkelmuskulatur, ausgenommen m.rectus femoris, in einer nun wieder auftretenden Differenzierung der Typencharakteristik, die allerdings nur beim m.biceps caput longum der des gleichnamigen Muskels entsprach.

TABELLE 4. Werte der drei Fasergruppen aufweisenden Muskeln.

adductor magnus

.			$\bar{F}$ [µ²]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
1	A	l	251o	3oo	74	7o-77	+19	+39
		r	2o5o	23o	51	47-55		
	B	l	22oo	35o	16	13-19	+51	-134
		r	1o8o	18o	37	33-41		
	C	l	237o	38o	1o	8-13	+65	-24
		r	83o	5o	12	1o-15		
	A	l	272o	43o	66	62-7o	+ 5	+ 5
		r	259o	28o	63	59-67		
	B	l	143o	25o	24	21-27	-22	- 3
		r	174o	34o	32	28-36		
	C	l	119o	13o	1o	8-13	- 9	+53
		r	129o	18o	5	3- 7		
	A	l	244o	25o	54	5o-58	+11	-27
		r	216o	25o	69	65-72		
	B	l	133o	13o	31	28-35	+13	+31
		r	116o	18o	21	18-24		
	C	l	87o	8o	15	12-18	+ 8	+36
		r	8oo	1oo	1o	8-13		
	A	l	197o	2oo	71	68-74	+ 7	- 5
		r	183o	28o	74	7o-77		
	B	l	125o	13o	18	15-21	+ 4	+ 3
		r	12oo	18o	18	15-21		
	C	l	1o7o	1oo	11	9-14	+ 5	+3o
		r	1o2o	13o	8	6-1o		
	A	l	225o	43o	67	63-7o	-1	-11
		r	227o	28o	75	71-78		
	B	l	14oo	18o	2o	17-23	+12	+17
		r	123o	13o	16	13-19		
	C	l	114o	13o	13	11-16	+2o	+33
		r	92o	1oo	9	7-11		
5	A	l	353o	48o	58	54-61	+23	-22
		r	271o	33o	71	68-74		
	B	l	16oo	18o	17	14-2o	+3o	+17
		r	113o	2oo	14	11-17		
	C	l	116o	1oo	25	22-28	+2o	+41
		r	93o	1oo	15	12-18		
7	A	l	221o	38o	58	54-61	+ 8	-23
		r	22oo	33o	71	68-74		
	B	l	145o	18o	17	14-2o	+23	+12
		r	112o	2oo	15	12-18		
	C	l	1o1o	1oo	25	22-28	+25	+46
		r	76o	8o	14	11-17		

Nr.			$\bar{F}$ [µ²]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
8	A	l	283o	4oo	65	61-69	+22	-17
		r	221o	33o	74	7o-77		
	B	l	143o	13o	19	16-22	+17	+12
		r	119o	1oo	16	13-19		
	C	l	98o	1oo	16	13-19	+13	+34
		r	85o	13o	1o	8-13		
9	A	l	234o	3oo	66	62-7o	+16	-13
		r	196o	18o	75	71-78		
	B	l	149o	18o	2o	17-23	+ 7	+22
		r	139o	13o	16	13-19		
	C	l	1o8o	1oo	14	11-17	+ 9	+38
		r	98o	5o	9	7-11		
14	A	l	218o	25o	74	7o-77	-2o	+12
		r	262o	33o	65	61-69		
	B	l	1o4o	8o	13	11-16	-24	-6o
		r	129o	1oo	21	18-24		
	C	l	885	8o	13	11-16	-3o	-1o
		r	115o	13o	14	11-17		
15	A	l	195o	23o	8o	77-83	- 7	+25
		r	2o9o	2oo	78	75-81		
	B	l	1o4o	1oo	13	11-16	+23	-13
		r	8oo	1oo	15	12-18		
	C	l	92o	1oo	7	5- 9	+37	- o
		r	58o	8o	7	5- 9		
16	A	l	2145	2oo	8o	77-83	+26	+23
		r	159o	18o	61	57-65		
	B	l	1255	18o	14	11-17	+35	-51
		r	815	1oo	21	18-24		
	C	l	1115	1oo	6	4- 8	+39	-196
		r	68o	8o	18	15-21		
17	A	l	267o	38o	73	7o-76	+15	+15
		r	227o	23o	62	58-66		
	B	l	12oo	13o	14	11-17	+22	-53
		r	94o	8o	22	19-25		
	C	l	119o	1oo	13	11-16	+29	-15
		r	84o	8o	16	13-19		
18	A	l	211o	23o	75	71-78	+5	- o
		r	2oo5	28o	75	71-78		
	B	l	1375	1oo	14	11-17	+24	+21
		r	1o4o	1oo	11	9-14		
	C	l	97o	8o	11	9-14	+21	-25
		r	77o	1oo	14	11-17		

m.adductor magnus (Forts.)

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
19	A	l	2920	330	72	68-75	+ 8	+22
		r	2680	330	57	53-61		
	B	l	1610	200	20	17-23	+29	-45
		r	1140	180	33	30-37		
	C	l	1300	100	8	6-10	+16	-24
		r	1090	130	10	8-13		
20	A	l	2650	400	74	70-77	+14	+12
		r	2270	230	65	61-69		
	B	l	1580	180	18	15-21	+23	-64
		r	1220	130	30	27-34		
	C	l	1060	80	8	6-10	+18	+33
		r	870	100	5	3- 7		
21	A	l	2700	350	61	57-65	+22	+ 8
		r	2110	180	56	61-69		
	B	l	1790	150	23	20-26	+36	-37
		r	1150	100	29	26-33		
	C	l	1120	100	16	13-19	+42	- 6
		r	650	50	15	12-18		
22	A	l	2180	280	69	65-72	+ 8	-17
		r	2000	330	81	78-84		
	B	l	1000	100	25	22-28	- 6	+48
		r	1070	150	13	11-16		
	C	l	460	30	6	4- 8	-67	-14
		r	770	80	6	4- 8		
24	A	l	2900	330	75	71-78	+20	+12
		r	2310	250	66	62-70		
	B	l	1960	200	12	10-15	+40	-74
		r	1180	100	20	17-23		
	C	l	1980	180	13	11-16	+52	- 2
		r	950	80	14	11-17		

m.biceps,caput breve

5	A	l	2670	450	80	77-83	+ 6	+ 6
		r	2510	330	76	73-79		
	B	l	1640	230	15	12-18	+24	-17
		r	1240	250	17	14-20		
	C	l	1180	150	5	3- 7	+33	-40
		r	790	80	7	5- 9		

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
7	A	l	2820	280	74	70-71	+11	+ 4
		r	2510	280	70	66-73		
	B	l	1710	150	18	15-21	+16	- 3
		r	1430	130	21	18-24		
	C	l	1290	150	8	6-10	+32	-27
		r	880	80	9	7-11		
9	A	l	3870	530	83	80-86	+ 3	+ 1
		r	3750	450	80	77-83		
	B	l	2900	300	13	11-16	+15	-18
		r	2480	130	15	12-18		
	C	l	2680	230	4	3- 6	+22	-24
		r	2090	280	5	3- 7		
11	A	l	4445	750	77	74-80	+24	- 5
		r	3390	380	81	78-84		
	B	l	2135	330	18	15-21	+13	+21
		r	1865	200	14	11-17		
	C	l	1180	100	5	3- 7	- 4	+ 5
		r	1230	80	5	3- 7		
14	A	l	2300	250	70	66-73	-37	+ 5
		r	3150	480	67	63-70		
	B	l	1260	150	13	11-16	- 9	-17
		r	1375	130	15	12-18		
	C	l	1065	100	17	14-20	-13	- 7
		r	1200	100	18	15-21		
15	A	l	3255	380	76	73-79	+27	- 2
		r	2365	230	77	74-80		
	B	l	1855	180	15	12-18	+35	- 5
		r	1200	100	16	13-19		
	C	l	1630	130	9	7-11	+42	+22
		r	940	100	7	5- 9		
16	A	l	3615	300	64	60-68	+39	-14
		r	2220	250	73	70-76		
	B	l	2590	330	15	12-18	+66	-16
		r	875	100	17	14-20		
	C	l	2510	230	21	18-24	+71	+54
		r	730	80	10	8-13		
17	A	l	2150	200	75	71-78	-10	+ 7
		r	2360	280	70	66-73		
	B	l	1300	150	14	11-17	+ 9	-43
		r	1190	230	20	17-23		
	C	l	1220	130	11	9-14	+12	+13
		r	1075	180	10	8-13		

M.biceps,caput breve (Forts.)

Nr.			F[µ²]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
8	A	l	4080	450	83	80-86	+ 8	- 1
		r	3750	300	84	81-87		
	B	l	2730	250	13	11-16	+14	+40
		r	2340	100	8	6-10		
	C	l	2230	200	4	3- 6	+ 8	-10
		r	2050	180	8	6-10		
9	A	l	1750	230	71	67-74	-41	-12
		r	2470	200	80	77-83		
	B	l	640	50	19	16-22	+21	+32
		r	510	80	10	8-13		
	C	l	520	30	10	8-13	+33	± o
		r	350	80	10	8-13		
10	A	l	2790	250	80	77-83	-37	+11
		r	3880	530	70	66-73		
	B	l	1680	180	9	7-11	-21	-145
		r	2030	200	23	20-26		
	C	l	1270	100	11	9-14	+ 3	+42
		r	1230	130	7	5- 9		
23	A	l	2650	380	79	76-82	+ 9	+ 8
		r	2400	300	72	68-75		
	B	l	1530	350	12	10-15	+10	-25
		r	1380	180	15	12-18		
	C	l	1110	80	9	7-11	- 4	-39
		r	1160	130	13	11-16		

M.biceps,caput longum

Nr.			F[µ²]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
3	A	l	3310	300	74	70-77	+34	+ 7
		r	2180	230	69	65-72		
	B	l	1570	130	18	15-21	+43	-15
		r	900	130	20	17-23		
	C	l	1100	130	8	6-10	+31	-40
		r	760	80	11	9-14		
4	A	l	2980	380	75	71-78	-17	-13
		r	3480	530	85	82-88		
	B	l	2210	200	15	12-18	+16	+22
		r	1870	250	11	9-14		
	C	l	1660	180	10	8-13	+16	+63
		r	1390	100	4	3- 6		
5	A	l	2820	480	71	67-74	+ 27	- 1
		r	2050	280	71	67-74		
	B	l	1412	180	16	13-19	+ 27	- 8
		r	1020	100	17	14-20		
	C	l	1102	180	13	11-16	+ 31	+ 6
		r	750	100	12	10-15		
6	A	l	3380	450	70	66-73	+ 23	+ o
		r	2620	230	70	66-73		
	B	l	2380	230	17	14-20	+ 48	- 7
		r	1250	300	18	15-21		
	C	l	1680	280	13	10-15	+ 41	+ 8
		r	940	100	12	10-15		
7	A	l	2720	350	74	70-77	+ 26	- 1
		r	2010	350	75	71-78		
	B	l	1850	250	15	12-18	+ 38	-18
		r	1150	230	16	13-19		
	C	l	1290	130	11	9-14	+ 30	+10
		r	900	150	9	7-11		
8	A	l	2730	250	73	70-76	+ 30	± o
		r	1910	300	73	70-76		
	B	l	2080	200	15	12-18	+ 35	-13
		r	1350	250	16	13-19		
	C	l	1540	180	12	10-15	+ 37	+ 4
		r	970	100	11	9-14		
9	A	l	3490	300	74	70-77	+ 24	+ 1
		r	2650	350	73	70-76		
	B	l	1680	180	16	13-19	+ 33	-10
		r	1110	350	18	15-21		
	C	l	1200	150	10	8-13	+ 38	+ 9
		r	740	50	9	7-11		
10	A	l	2410	480	76	73-79	+ 23	+ 1
		r	1860	230	74	70-77		
	B	l	1240	250	15	12-18	+ 28	- 2
		r	890	100	18	15-21		
	C	l	980	180	9	7-11	+ 23	+16
		r	750	80	8	6-10		
11	A	l	3510	330	74	70-77	+ 26	± o
		r	2610	280	74	70-77		
	B	l	2030	180	18	15-21	+ 22	+10
		r	1590	300	16	13-19		
	C	l	1370	130	8	6-10	+ 41	-15
		r	800	50	10	8-13		

m.biceps,caput longum (Forts.)

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
14	A	l	246o	4oo	71	67-74	-13	- 1
		r	279o	35o	72	68-75		
	B	l	14oo	2oo	14	11-17	-26	+ o
		r	176o	25o	14	11-17		
	C	l	111o	15o	15	12-18	-17	+ o
		r	13oo	2oo	14	11-17		
15	A	l	287o	93o	75	71-78	+ 4	+ 4
		r	268o	28o	72	68-75		
	B	l	163o	23o	17	14-2o	+22	- 8
		r	127o	1oo	19	16-22		
	C	l	159o	15o	8	6-1o	+24	-14
		r	121o	15o	9	7-11		
16	A	l	259o	32o	74	7o-77	+ 1	+ 9
		r	257o	2oo	67	63-7o		
	B	l	17oo	2oo	16	13-19	+32	- 5
		r	116o	18o	17	14-2o		
	C	l	167o	18o	1o	8-13	+45	-52
		r	92o	1oo	16	13-19		
17	A	l	253o	38o	72	68-75	+ 8	± o
		r	233o	25o	72	68-75		
	B	l	139o	15o	16	13-19	+35	+ 9
		r	9oo	8o	15	12-18		
	C	l	115o	8o	12	1o-15	+34	-13
		r	76o	5o	13	11-16		
18	A	l	297o	25o	78	75-81	+ 2	+4
		r	291o	23o	76	73-79		
	B	l	164o	18o	14	11-17	+17	- 9
		r	136o	2oo	15	12-18		
	C	l	158o	2oo	8	6-1o	+47	-23
		r	84o	8o	9	7-11		
19	A	l	31oo	43o	71	67-74	+ 6	+ 2
		r	292o	33o	68	64-72		
	B	l	237o	5oo	18	15-21	+26	-13
		r	175o	2oo	19	16-22		
	C	l	176o	23o	11	9-14	+44	-29
		r	99o	1oo	13	11-16		
2o	A	l	329o	35o	82	79-84	- 5	+25
		r	346o	55o	62	58-66		
	B	l	2331	28o	12	1o-15	+ 6	-142
		r	22oo	23o	29	26-33		
	C	l	165o	13o	6	4- 8	+12	-68
		r	146o	1oo	9	7-11		
21	A	l	297o	48o	73	7o-76	+ 2	+ 6
		r	291o	53o	7o	66-73		
	B	l	189o	25o	22	19-25	+18	- 3
		r	155o	18o	23	2o-26		
	C	l	154o	18o	5	4- 7	+34	-44
		r	1ooo	1oo	7	5- 9		

m. rectus femoris

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
1	A	l	1985	18o	7o	66-73	+ 8	+ 5
		r	182o	23o	67	63-7o		
	B	l	985	15o	18	15-21	+ 5	-48
		r	94o	1oo	27	24-31		
	C	l	1o1o	13o	12	1o-15	- 8	+47
		r	1o95	8o	6	4- 8		
3	A	l	2825	23o	74	7o-77	+33	+ 9
		r	1895	28o	67	63-7o		
	B	l	138o	15o	19	16-22	+14	+12
		r	119o	2oo	17	14-2o		
	C	l	1175	8o	7	5- 9	+24	-1o7
		r	89o	13o	16	13-19		
4	A	l	2265	43o	72	68-75	- 5	+ 5
		r	2385	28o	68	64-72		
	B	l	145o	13o	16	13-19	+ 5	± o
		r	138o	15o	16	13-19		
	C	l	1855	13o	12	1o-15	+21	-3o
		r	1465	18o	16	13-19		
5	A	l	214o	25o	7o	66-73	+ 5	+ 5
		r	2o3o	4oo	67	63-7o		
	B	l	126o	18o	14	12-17	+ 5	+19
		r	119o	1oo	11	9-14		
	C	l	143o	1oo	16	13-19	+2o	-25
		r	115o	18o	22	19-25		
6	A	l	352o	3oo	52	48-56	+ 5	-32
		r	3335	38o	68	64-72		
	B	l	17o5	33o	33	3o-37	+ 2	+7o
		r	144o	13o	12	1o-15		
	C	l	148o	13o	15	12-18	+ 4	-3o
		r	142o	18o	2o	17-23		

rectus femoris (Forts.)

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
7	A	l	243o	28o	71	68-74	+16	+ 9
		r	204o	2oo	66	62-7o		
	B	l	1o8o	1oo	19	16-22	+24	+ 5
		r	82o	13o	18	15-21		
	C	l	96o	5o	12	1o-15	+11	-29
		r	82o	2oo	16	13-19		
3	A	l	311o	43o	74	7o-77	+ 4	+ 6
		r	299o	4oo	7o	66-73		
	B	l	193o	18o	15	12-18	+18	+ 6
		r	158o	23o	14	12-17		
	C	l	157o	1oo	11	9-14	+26	-43
		r	116o	13o	16	13-19		
9	A	l	269o	53o	71	68-74	+19	+24
		r	218o	28o	55	51-59		
	B	l	144o	25o	18	15-21	+ 3	+1o
		r	129o	28o	17	14-2o		
	C	l	111o	13o	12	1o-15	- 5	-21
		r	117o	15o	28	25-32		
o	A	l	198o	2oo	7o	66-73	+11	+16
		r	176o	18o	62	58-65		
	B	l	1ooo	8o	16	13-19	+1o	+29
		r	9oo	1oo	17	14-2o		
	C	l	123o	15o	14	12-17	+ 9	-39
		r	112o	13o	21	18-24		
1	A	l	288o	28o	7o	66-73	-21	+ 3
		r	349o	43o	68	64-72		
	B	l	149o	15o	15	12-18	-25	-8o
		r	186o	18o	26	23-3o		
	C	l	725	15o	15	12-18	-41	+63
		r	1o25	18o	6	4- 8		
4	A	l	255o	35o	74	7o-77	+ 9	+12
		r	232o	48o	65	61-69		
	B	l	125o	13o	15	12-18	-12	-33
		r	14oo	14o	2o	17-23		
	C	l	139o	18o	11	9-14	+ 1	-35
		r	137o	18o	15	12-18		
5	A	l	255o	33o	77	74-8o	-14	+ 8
		r	29oo	4oo	71	68-74		
	B	l	139o	15o	15	12-18	-2o	-35
		r	167o	18o	2o	17-23		
	C	l	111o	1oo	8	6-1o	-29	-17
		r	143o	18o	9	7-11		
16	A	l	185o	23o	73	7o-76	-21	+17
		r	227o	25o	67	63-7o		
	B	l	1o1o	18o	13	11-16	-41	- 6
		r	143o	13o	14	12-17		
	C	l	1o6o	8o	14	12-17	-52	-43
		r	161o	1oo	19	16-22		
17	A	l	259o	25o	65	61-69	- 6	+15
		r	275o	38o	57	53-61		
	B	l	118o	13o	19	16-22	-33	-28
		r	158o	33o	24	21-27		
	C	l	1o8o	1oo	16	13-19	-36	-29
		r	147o	13o	19	16-22		
18	A	l	255o	28o	71	68-74	-27	+12
		r	323o	33o	62	58-65		
	B	l	146o	2oo	18	15-21	-67	+15
		r	243o	23o	16	13-19		
	C	l	139o	1oo	11	9-14	-41	-1o4
		r	197o	23o	22	29-25		
19	A	l	199o	28o	61	57-65	-53	- 8
		r	3o5o	38o	7o	66-73		
	B	l	1o7o	8o	2o	17-23	-67	- 3
		r	18oo	23o	21	18-24		
	C	l	89o	5o	19	16-22	-89	+28
		r	168o	43o	9	7-11		
2o	A	l	257o	38o	74	7o-77	-17	+16
		r	3o2o	45o	63	59-67		
	B	l	143o	15o	17	14-2o	-32	- 7
		r	184o	13o	18	15-21		
	C	l	167o	2oo	9	7-11	+11	-127
		r	149o	55o	19	16-22		
21	A	l	152o	18o	2o	17-23	-25	+15
		r	189o	15o	17	14-2o		
	B	l	27oo	43o	67	63-7o	- 9	-3o
		r	294o	3oo	69	65-72		
	C	l	114o	13o	13	11-16	-31	- 8
		r	149o	18o	14	12-17		
22	A	l	373o	48o	8o	77-83	+ 9	+2o
		r	34oo	36o	64	6o-68		
	B	l	18oo	15o	11	9-14	± o	-91
		r	18oo	18o	21	18-24		
	C	l	94o	5o	9	7-11	+23	-64
		r	72o	13o	15	12-18		

m.rectus femoris (Forts.)

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
23	A	l	186o	18o	79	76-82	-22	+ 8
		r	226o	23o	72	68-75		
	B	l	82o	15o	13	11-16	-8o	-69
		r	147o	2oo	22	19-25		
	C	l	69o	13o	8	6-1o	-55	+31
		r	1o7o	26o	6	4- 8		

m.semimembranosus

3	A	l	153o	65o	68	64-72	-64	-1o
		r	252o	23o	75	71-78		
	B	l	1o3o	38o	27	23-3o	-1o1	+24
		r	2o6o	2oo	21	18-24		
	C	l	63o	22o	5	3- 7	-171	+1o
		r	172o	18o	4	3- 7		
4	A	l	277o	45o	68	64-72	- 9	- 9
		r	3ooo	3oo	74	7o-77		
	B	l	255o	28o	22	19-25	+38	+22
		r	157o	18o	17	14-2o		
	C	l	257o	15o	1o	8-13	+52	+1o
		r	123o	15o	9	7-11		
5	A	l	331o	38o	68	64-72	+3o	- 9
		r	232o	2oo	74	7o-77		
	B	l	327o	3oo	24	21-27	+47	+2o
		r	173o	13o	19	16-22		
	C	l	3o9o	28o	8	6-1o	+47	+11
		r	164o	13o	7	5- 9		
6	A	l	59oo	85o	63	59-67	+4o	- 8
		r	356o	63o	68	64-72		
	B	l	374o	35o	22	19-25	+45	+13
		r	2o7o	28o	19	16-22		
	C	l	287o	18o	15	12-18	+43	+14
		r	164o	15o	13	11-16		
7	A	l	48oo	43o	61	57-65	+33	-16
		r	322o	5oo	7o	66-73		
	B	l	392o	38o	24	21-27	+44	+26
		r	22oo	4oo	17	14-2o		
	C	l	387o	3oo	15	12-18	+45	+ 8
		r	2o9o	18o	13	1o-16		

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
8	A	l	432o	78o	67	63-7o	+27	- 2
		r	315o	35o	69	65-72		
	B	l	331o	3oo	2o	17-23	+38	+14
		r	25oo	25o	18	15-21		
	C	l	296o	13o	13	11-16	+52	± o
		r	144o	15o	13	11-16		
9	A	l	319o	38o	62	58-66	+37	-12
		r	2o1o	25o	69	65-72		
	B	l	3o8o	25o	22	19-25	+35	+17
		r	197o	2oo	18	15-21		
	C	l	3o2o	33o	16	13-19	+42	+19
		r	175o	13o	13	11-16		
1o	A	l	376o	6oo	65	61-69	+23	- 6
		r	29oo	48o	7o	66-73		
	B	l	311o	3oo	16	13-19	+41	+2o
		r	184o	18o	13	1o-16		
	C	l	243o	13o	19	16-22	+49	+14
		r	125o	13o	17	14-2o		
15	A	l	436o	38o	73	7o-76	+13	- 6
		r	382o	5oo	77	74-8o		
	B	l	387o	43o	17	14-2o	+42	± o
		r	226o	13o	17	14-2o		
	C	l	263o	2oo	1o	8-13	+29	+44
		r	1888	28o	6	4- 8		
16	A	l	221o	25o	74	7o-77	-53	+ 8
		r	337o	38o	67	63-7o		
	B	l	125o	13o	14	11-17	-83	-28
		r	22oo	28o	19	16-22		
17	A	l	27oo	43o	65	61-69	+ 5	+ 9
		r	255o	25o	6o	56-64		
	B	l	219o	18o	13	11-16	+37	-134
		r	137o	33o	29	26-33		
	C	l	19oo	18o	22	19-25	+35	+5o
		r	124o	1oo	11	9-14		
18	A	l	414o	58o	69	65-72	+16	- 9
		r	349o	33o	75	71-78		
	B	l	331o	3oo	14	11-17	+36	+19
		r	213o	2oo	12	1o-15		
	C	l	274o	85o	17	14-2o	+4o	+22
		r	166o	15o	13	11-16		
16	C	l	96o	32o	12	1o-15	-93	-2o
		r	185o	25o	14	11-17		

.semimembranosus (Forts.)

r.			$\bar{F}$ [μ^2]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
9	A	l	31oo	43o	64	6o-68	+36	-36
		r	198o	2oo	83	8o-86		
	B	l	31oo	3oo	19	16-22	+51	+61
		r	15oo	75o	9	7-11		
	C	l	3o1o	63o	17	14-2o	+57	+67
		r	128o	65o	8	6-1o		
o	A	l	5ooo	78o	63	59-67	+36	+ 3
		r	321o	38o	61	57-65		
	B	l	439o	98o	26	23-3o	+6o	-3o
		r	175o	25o	34	31-38		
	C	l	51oo	1o3o	11	9-14	+78	+58
		r	112o	2oo	5	3- 7		
1	A	l	356o	48o	69	65-72	+1o	+14
		r	322o	65o	6o	56-64		
	B	l	267o	65o	13	11-16	- 3	-85
		r	276o	4oo	24	21-27		
	C	l	2o4o	23o	18	15-21	-18	+1o
		r	24oo	2oo	16	13-19		
2	A	l	4o3o	65o	59	55-63	+ 5	-31
		r	382o	73o	77	74-8o		
	B	l	264o	28o	26	23-3o	+ 7	+55
		r	245o	23o	12	1o-15		
	C	l	251o	18o	15	12-18	+14	+27
		r	217o	2oo	11	9-14		
3	A	l	276o	83o	68	65-72	+ 1	+12
		r	274o	35o	61	57-65		
	B	l	2o4o	18o	14	11-17	-23	-81
		r	252o	2oo	25	22-28		
	C	l	187o	18o	17	14-2o	+ 3	+18
		r	182o	15o	14	11-17		

m.tibialis anterior

1	A	l	174o	18o	45	41-49	+ 6	-17
		r	163o	2oo	53	49-57		
	B	l	174o	18o	36	32-4o	+22	- 4
		r	136o	13o	37	33-41		
	C	l	179o	13o	19	16-22	+27	+47
		r	132o	1oo	1o	8-13		

Nr.			$\bar{F}$ [μ^2]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
3	A	l	282o	25o	7o	66-73	-28	+1o
		r	361o	93o	63	59-67		
	B	l	182o	18o	2o	17-23	+ 6	-27
		r	172o	18o	26	23-3o		
	C	l	122o	28o	1o	8-13	+ 6	-18
		r	115o	13o	11	9-14		
4	A	l	287o	35o	71	68-74	+ 6	+ 8
		r	27oo	28o	65	61-69		
	B	l	176o	15o	18	15-21	+ 3	-1o
		r	17oo	36o	2o	17-23		
	C	l	231o	58o	11	9-14	+39	-35
		r	14oo	15o	15	12-18		
5	A	l	251o	28o	64	6o-68	+28	+ 5
		r	18oo	23o	6o	56-64		
	B	l	17oo	13o	26	23-3o	+18	+ 2
		r	139o	15o	26	23-3o		
	C	l	141o	1oo	1o	8-13	+17	-4o
		r	117o	13o	14	11-17		
6	A	l	3o2o	48o	45	41-49	+ 3	-17
		r	292o	3oo	53	49-57		
	B	l	222o	23o	36	32-4o	+15	- 4
		r	189o	3oo	37	33-41		
	C	l	182o	13o	19	16-22	+ 6	+46
		r	17oo	18o	1o	8-13		
7	A	l	274o	25o	72	68-75	+1o	+ 7
		r	246o	25o	67	63-7o		
	B	l	165o	18o	19	16-22	+1o	- 9
		r	148o	1oo	2o	17-23		
	C	l	222o	2oo	11	9-14	+23	-3o
		r	171o	38o	13	11-16		
8	A	l	29oo	48o	68	64-72	+ 8	+ 4
		r	264o	25o	65	61-69		
	B	l	232o	33o	23	2o-26	+11	- 1
		r	2o6o	18o	23	2o-26		
	C	l	176o	18o	9	7-11	+15	-25
		r	15oo	18o	12	1o-15		
9	A	l	283o	33o	65	61-69	+15	+15
		r	24oo	25o	57	53-61		
	B	l	124o	15o	22	19-25	+2o	- 7
		r	99o	1oo	24	21-27		
	C	l	137o	13o	13	11-16	+28	-43
		r	99o	5o	19	16-22		

m.tibialis anterior (Forts.)

Nr.			$\bar{F}$ [μ^2]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
1o	A	l	21oo	2oo	69	65-72	+1o	+1o
		r	189o	23o	63	59-67		
	B	l	193o	18o	18	15-21	+15	-5
		r	164o	13o	2o	17-23		
	C	l	164o	15o	13	11-16	+1o	-2o
		r	148o	13o	17	14-2o		
11	A	l	3o4o	35o	6o	56-64	+23	+ 5
		r	233o	28o	57	53-61		
	B	l	2o4o	33o	25	22-28	+ 3	-33
		r	198o	2oo	33	3o-37		
	C	l	175o	1oo	15	12-18	+ 6	+33
		r	165o	15o	1o	8-13		
14	A	l	223o	28o	56	52-6o	+21	+ 2
		r	176o	23o	55	51-59		
	B	l	128o	25o	29	26-32	+19	-1o
		r	1o4o	13o	32	28-36		
	C	l	125o	8o	15	12-18	+24	+12
		r	95o	1oo	13	11-16		
15	A	l	217o	4oo	72	68-75	- 4	+15
		r	226o	28o	61	57-65		
	B	l	15oo	18o	2o	17-23	+2o	-3o
		r	12oo	13o	26	23-3o		
	C	l	141o	13o	8	6-1o	+32	-58
		r	96o	1oo	13	11-16		
16	A	l	276o	58o	57	53-61	+46	+ 1
		r	149o	28o	56	52-6o		
	B	l	218o	28o	21	18-24	+48	-6o
		r	114o	15o	33	3o-37		
	C	l	182o	18o	22	19-25	+42	+52
		r	1o5o	13o	11	9-14		
17	A	l	353o	6oo	61	57-65	+ 4	+ 3
		r	339o	38o	6o	56-64		
	B	l	237o	23o	23	2o-26	+23	± o
		r	182o	2oo	22	19-25		
	C	l	177o	13o	16	13-19	+ 6	-12
		r	167o	4oo	18	15-21		
18	A	l	248o	25o	58	54-62	-33	- 1
		r	33oo	11oo	58	54-62		
	B	l	189o	18o	21	18-24	-18	+2o
		r	223o	23o	17	14-2o		
	C	l	176o	15o	21	18-24	+2o	-17
		r	14oo	1oo	25	22-28		
19	A	l	268o	23o	63	59-67	+2o	+ 5
		r	214o	2oo	6o	56-64		
	B	l	165o	18o	25	22-28	+3o	-35
		r	115o	13o	33	3o-37		
	C	l	143o	15o	12	1o-15	+25	+4o
		r	1o7o	13o	7	5- 9		
2o	A	l	221o	25o	65	61-69	+4o	+ 3
		r	133o	33o	63	59-67		
	B	l	127o	1oo	26	23-3o	+15	-15
		r	1o8o	15o	32	28-36		
	C	l	118o	13o	9	7-11	+ 32	+7
		r	8oo	5o	5	3- 7		
21	A	l	32oo	28o	63	59-67	+3o	+ 4
		r	224o	2oo	61	57-65		
	B	l	214o	18o	27	23-3o	+ 2o	-2
		r	171o	13o	34	31-38		
	C	l	173o	18o	1o	8-13	+19	+33
		r	8oo	1oo	5	3- 7		
22	A	l	287o	25o	59	55-63	-13	-13
		r	325o	53o	67	63-7o		
	B	l	2o2o	18o	23	2o-26	+1o	- 7
		r	181o	23o	25	22-28		
	C	l	156o	2oo	18	15-21	+ 5	+53
		r	149o	2oo	8	6-1o		
23	A	l	199o	2oo	73	7o-76	-4o	+2o
		r	278o	43o	58	54-62		
	B	l	144o	15o	16	13-19	-44	-9o
		r	2o8o	18o	3o	27-34		
	C	l	86o	2oo	11	9-14	-91	- 7
		r	165o	38o	12	1o-15		

m.vastus lateralis

2	A	l	383o	48o	66	62-7o	+22	-15
		r	3ooo	2oo	76	73-79		
	B	l	192o	25o	26	22-3o	+29	+27
		r	137o	13o	19	16-22		
	C	l	14oo	18o	8	6-1o	+22	+38
		r	1o9o	1oo	5	4- 7		

.vastus lateralis (Forts.)

r.			$\bar{F}$ [µ]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
3	A	l	293o	36o	61	57-65	- 4	-14
		r	3o3o	55o	69	65-72		
	B	l	15oo	28o	29	26-33	+13	+21
		r	13oo	8o	23	2o-26		
	C	l	1o4o	1oo	1o	8-13	+21	+22
		r	82o	1oo	8	6-1o		
4	A	l	564o	68o	54	5o-58	+49	-34
		r	288o	3oo	72	68-75		
	B	l	277o	28o	3o	27-34	+34	+27
		r	182o	25o	22	19-25		
	C	l	243o	28o	16	13-19	+5o	+62
		r	121o	2oo	6	4- 8		
5	A	l	5o2o	8oo	65	61-69	+3o	-2o
		r	352o	63o	76	73-79		
	B	l	287o	3oo	24	21-27	+22	+41
		r	224o	33o	18	15-21		
	C	l	193o	18o	11	9-14	+29	+41
		r	137o	15o	6	4- 8		
6	A	l	347o	49o	59	55-63	+43	-28
		r	198o	23o	74	7o-77		
	B	l	182o	23o	31	28-35	+33	+34
		r	122o	18o	2o	17-23		
	C	l	157o	2oo	1o	8-13	+39	+36
		r	96o	13o	6	4- 8		
7	A	l	398o	53o	64	6o-68	+17	-12
		r	329o	45o	71	68-74		
	B	l	2o5o	3oo	28	25-32	+11	+14
		r	182o	3oo	24	21-27		
	C	l	182o	18o	8	6-1o	+19	+31
		r	147o	23o	5	4- 7		
11	A	l	385o	58o	73	69-76	- 9	+ 2
		r	42oo	84o	72	68-75		
	B	l	2o9o	23o	23	2o-26	+ 6	+ 8
		r	197o	28o	21	18-24		
	C	l	188o	18o	4	3- 6	+26	-69
		r	138o	2oo	7	5- 9		
14	A	l	321o	38o	71	68-74	+27	+ 9
		r	234o	23o	61	57-65		
	B	l	154o	15o	15	12-18	+32	-41
		r	1o5o	13o	2o	17-23		
	C	l	11oo	5o	14	12-17	+44	-47
		r	62o	13o	19	16-22		

Nr.			$\bar{F}$ [µ]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
15	A	l	391o	58o	77	74-8o	+3o	+ 5
		r	274o	28o	73	69-76		
	B	l	243o	33o	14	12-17	+46	-19
		r	131o	25o	16	13-19		
	C	l	117o	8o	9	7-11	+22	-33
		r	91o	18o	11	9-14		
16	A	l	312o	55o	64	6o-68	+1o	+15
		r	28oo	38o	54	5o-58		
	B	l	168o	45o	22	29-25	+ 3	- 6
		r	163o	18o	24	21-27		
	C	l	14oo	18o	14	12-17	+ 2o	-57
		r	111o	18o	22	19-25		
17	A	l	41oo	53o	69	65-72	+24	+13
		r	312o	4oo	6o	56-64		
	B	l	283o	36o	2o	17-23	+29	-3o
		r	2o1o	18o	25	22-28		
	C	l	179o	2oo	11	9-14	+33	-4o
		r	12oo	3oo	15	12-18		
22	A	l	354o	115o	72	68-75	- 8	+12
		r	383o	48o	64	6o-68		
	B	l	19oo	23o	13	11-16	+37	-1oo
		r	119o	3oo	26	23-3o		
	C	l	129o	25o	15	12-18	+39	+32
		r	79o	1oo	1o	8-13		
23	A	l	382o	43o	77	74-8o	+25	+11
		r	288o	36o	69	65-72		
	B	l	163o	18o	13	11-16	+33	-5o
		r	1o9o	18o	2o	17-23		
	C	l	128o	15o	1o	8-13	+26	-18
		r	95o	1oo	11	9-14		
24	A	l	611o	125o	67	63-7o	+48	+ 2
		r	319o	38o	66	62-7o		
	B	l	371o	52o	24	21-27	+51	+ 6
		r	182o	23o	22	19-25		
	C	l	336o	48o	9	7-11	+64	-35
		r	12oo	2oo	12	1o-15		

m.vastus medialis

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
3	A	l	358o	48o	6o	56-63	+13	- 7
		r	31oo	38o	64	6o-68		
	B	l	182o	1oo	33	3o-37	+16	+2o
		r	153o	15o	27	24-31		
	C	l	146o	5o	7	5- 9	+21	-38
		r	115o	18o	9	7-11		
4	A	l	317o	65o	52	48-56	-27	-21
		r	4o3o	12oo	63	59-67		
	B	l	213o	28o	28	25-32	± o	+ 9
		r	213o	73o	25	22-28		
	C	l	173o	13o	2o	17-23	- 5	+42
		r	182o	48o	12	1o-15		
5	A	l	364o	48o	61	57-65	+2o	+ 6
		r	292o	4oo	58	54-62		
	B	l	217o	25o	23	2o-26	+41	-2o
		r	128o	13o	27	24-31		
	C	l	157o	18o	16	13-19	+39	+ 6
		r	95o	18o	15	12-18		
6	A	l	335o	63o	63	59-67	+1o	+1o
		r	3o2o	58o	6o	56-64		
	B	l	163o	2oo	28	25-32	+35	- 8
		r	1o6o	25o	32	28-36		
	C	l	142o	3oo	9	7-11	+ 9	+14
		r	129o	18o	8	6-1o		
7	A	l	297o	43o	59	55-62	+12	+ 8
		r	261o	33o	53	49-57		
	B	l	138o	15o	31	28-35	+24	-33
		r	1o5o	13o	41	27-45		
	C	l	11oo	15o	1o	8-13	+27	+6o
		r	8oo	8o	6	4- 8		
8	A	l	31oo	58o	69	65-72	+ 8	+12
		r	285o	28o	64	6o-68		
	B	l	152o	18o	21	18-25	+2o	-3o
		r	123o	13o	3o	28-36		
	C	l	128o	13o	1o	8-13	+18	+32
		r	1o5o	1oo	4	3- 6		
11	A	l	4o9o	13o	8o	77-83	+ 1	+18
		r	4o4o	4oo	66	62-69		
	B	l	273o	28o	14	12-17	+13	-83
		r	237o	23o	3o	27-34		
	C	l	182o	18o	6	4- 8	-6	+33
		r	192o	2oo	4	3- 6		

Nr.			$\bar{F}[\mu^2]$	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
15	A	l	38oo	38o	72	68-75	+14	+21
		r	292o	3oo	59	55-62		
	B	l	231o	35o	29	26-33	+42	- 9
		r	134o	28o	33	3o-37		
	C	l	198o	2oo	9	7-11	+48	+18
		r	1o3o	18o	7	5- 9		
16	A	l	3ooo	33o	66	62-69	-86	+21
		r	558o	145o	52	48-56		
	B	l	168o	18o	17	14-2o	-141	-49
		r	4o6o	185o	25	22-28		
	C	l	156o	15o	17	14-2o	-72	-3?
		r	269o	4oo	23	2o-26		
18	A	l	378o	45o	65	61-68	+27	± o
		r	276o	28o	65	61-68		
	B	l	21oo	23o	25	22-28	+3o	+ 2
		r	146o	18o	24	21-27		
	C	l	187o	2oo	1o	8-13	+42	- 2
		r	1o9o	15o	11	9-14		
19	A	l	3o6o	38o	62	58-65	+36	- 7
		r	197o	2oo	68	64-71		
	B	l	117o	23o	22	18-24	+38	+ 6
		r	72o	8o	21	18-24		
	C	l	97o	8o	16	14-2o	+33	+16
		r	66o	1oo	11	9-14		
2o	A	l	41oo	55o	79	76-82	+2o	+12
		r	328o	4oo	71	68-74		
	B	l	215o	2oo	14	12-17	+3o	-4o
		r	152o	18o	23	2o-26		
	C	l	187o	18o	7	5- 9	+35	+18
		r	123o	15o	6	4- 8		
21	A	l	352o	43o	64	6o-68	+26	+ 3
		r	26oo	3oo	61	57-65		
	B	l	156o	2oo	22	19-25	+33	-48
		r	1o5o	25o	31	28-35		
	C	l	113o	13o	14	12-17	+22	+33
		r	88o	1oo	8	6-1o		
22	A	l	275o	28o	74	7o-77	-18	+11
		r	325o	43o	66	62-69		
	B	l	14oo	15o	2o	17-23	+ 5	-25
		r	119o	8o	27	24-31		
	C	l	111o	8o	6	4- 8	+ 5	-25
		r	1o4o	23o	7	5- 9		

m.vastus medialis (Forts.)

Nr.		$\bar{F}$ [μ^2]	SD	Z%	VG	ΔF%	ΔZ%
23	A l	422o	63o	74	7o-77	+23	+12
	r	326o	38o	65	61-69		
	B l	258o	23o	1o	8-13	+26	-129
	r	191o	18o	23	2o-26		
	C l	224o	1oo	16	13-19	+38	+25
	r	139o	15o	12	1o-15		

Zeichenerklärung zu Tab. 4

Nr.	=	Kaninchen,	1,2	o,5 - monatige Immobilisation
			3,4	1 - "
			5-1o	2 - "
			11	3 - "
			14-21	6 - "
			22	8 - "
			23,24	9 - "

A, B, C = Fasertyp
l, r, = Extremitätenseite
$\bar{F}$ = mittlere Fläche
SD = ± Standardabweichung
Z% = Faserverteilung
VG = Vertrauensgrenzen
ΔF% = Flächenänderung
ΔZ% = Verteilungsänderung

Die prozentuale Änderung wurde von den nicht auf- oder abgerundeten Zahlen berechnet, in der Tabelle wurden die Kommastellen nicht aufgenommen.

Literaturverzeichnis

(1) Ranvier,L.: Des muscles rouges et des muscles blanc chez les rongeurs. C.R.Acad.Sei. (Paris) 1o4, 79-8o (1887)

(2) Krüger,P. : Über einen möglichen Zusammenhang zwischen Struktur, Funktion und chemischer Beschaffenheit der Muskeln. Biol.Zbl. 49,616-622 (1929)

(3) Krüger,P. : Tetanus und Tonus der quergestreiften Skelet-muskeln der Wirbeltiere und des Menschen. Leipzig:Akad.-Verlgs-Anst. Geest u.Portig 1952

(4) Bullard,H.H.:Histological as related to physiological and chemical differences in certain muscles of the cat.Johns Hopk.Hosp.Rep. 18, 323-328 (1919)

(5) Stein,J.M., Padykula,H.A.: Histochemical classification of individual skletal muscle fibres of the rat. Amer.J.Anat. 11o, 1o3-124 (1962)

(6) Gauthier,G.F., Padykula,H.A.: Cytological studies of fiber types in skeletal muscle. A comparative study of the mammalian diaphragm. J.Cell Biol.28, 333-354 (1966)

(7) Heene,R.: Hemmung glycogenbildender Enzyme durch 2,4-Dichlorphenoxyacetat (2,4-D) an Kryostat-schnitten des Warmblüterskeletmuskels, Histo-chemie 8, 45-53 (1967)

(8) Romanul,F.C.A.: Enzymes in muscle. I.Histochemical studies of enzymes in individual muscle fibers. Arch. Neurol.(Chic.) 11,355-368 (1964).

(9) Pette,D., u. Th.Bücher: Hoppe-Seylers Z.physiol.Chem.331, 18o (1963).

(1o) Bücher,Th. u. D.Pette : Verh.dtsch.Ges.inn.Med.,S.1o4. München:J.F.Bergmann 1965.

(11) Pette,D.: Naturwissenschaften 52, 597 (1965).

(12) Brooke,M.H., Kaiser,K.K.: The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fiber types. 1.Adult male anfemale. Neurology (Minneap.)19, 221-233(1969)

(13) Engel, W.K.: The essentiality of histo- and cytochemical studies of skeletal muscle in the investigation of neuromuscular disease. Neurology(Minneap.) 12, 778-794 (1962)

(14) Bárány,M.: ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. J.gen.Physiol. 5o, 197-218 (1967)

(15) Gordon,G., PhiMips.S.G.: Slow an rapid components in a flexor muscle. Quart.J.Physiol. 38, 35-45 (1953)

(16) Olson,C.B., Swett C.P.: A functional and histochemical characterization of motor units in a heteroge-neous muscle (flexor digitorum longus) of the cat. J.comp.Neurol.128,475-497 (1966)

(17) Close,R. : Properties of motor units in fast an slow skeletal muscles of the rat. J.Physiol.(Lond.) 193, 45-55 (1967).

(18) Burke, R.R.: Motor unit types of cat triceps surac muscle. J.Physiol.(Lond). 193, 141-16o (1967)

(19) Alderson,A.M., McLagan: The action of decamethonium and -tubocurarine on the respiratory and limb muscles of the cat. J.Physiol.(Lond.) 173, 38-56 (1964)

(2o) Schmalbruch,H.: Die quergestreiften Muskelfasern des Menschen.Erg.d.Anat. 43, 1-75 (197o)

(21) Eccles,J.C.: Investigations on muscle atrophies arising from disuse and tenotomy. J.Physiol.1o3,253 (1944)

(22) Mc Minn, R.M.H.and Vrbová,G.: Morphological changes in red and pale muscles following tenotomy. Nature (London), 195: 5o9 (1962)

(23) Mc Minn, R.M.H. and Vrbová,G.: The effect of tenotomy on the structure of fast and slow muscle in the rabbit. Quart.J.Exp.Physiol.49: 424 (1964)

(24) Mc Minn,R.M.H. and Vrbová,G.: Motoneurone activity as a cause of degeneration in the soleus muscle of the rabbit. Quart.J.Exp.Physiol.52:411 (1967)

(25) Buller,A.J. an Lewis, D.M.: Some Observations on the effects of tenotomy in the rabbit. J.Physiol., 178 : 326 (1965)

(26) Bergmann,R.A.and A.K.Afifi: The structure of the rabbit soleus muscle and the structural alterations resulting from tenotomy. Johns Hopkins Med.J. 124: 119-131 (1969)

(27) Ginetzinskij,A.G., Barbashova,Z.M., Ginetzinskaja,T.A. and Shamarina,N.M.: The significance of a nerve factor for disuse atrophy. Trudy Fiziol. Institutal.P.Pavlova, 1,44-51 (1945)

(28) Buller,A.J.,J.C.Eccles, and R.M.Eccles: J.Physiol.(Lond.) 15o, 399 (196o)

(29) Close,R.: Effects of cross-union of motor nerves to fast and slow skeletal muscles. Nature (Lond.) 2o6, 831-832 (1965)

(3o) Romanul,F.C.A.,Meulen,J.P.vanDer: Slow and fast muscles after cross innervation. Arch.Neurol.(Chic.) 17 387-4o2 (1967)

(31) Walcher K., Stürz H.: Führt Immobilisation und dosierte Druckbelastung eines Gelenkes im Tierversuch zum knöchernen Durchbau ? Arch.orthop.Unfall-Chir. 71, 216-247 (1971)

(32) Romeis, B.: Mikroskopische Technik.München-Wien:Oldenbourg (1968)

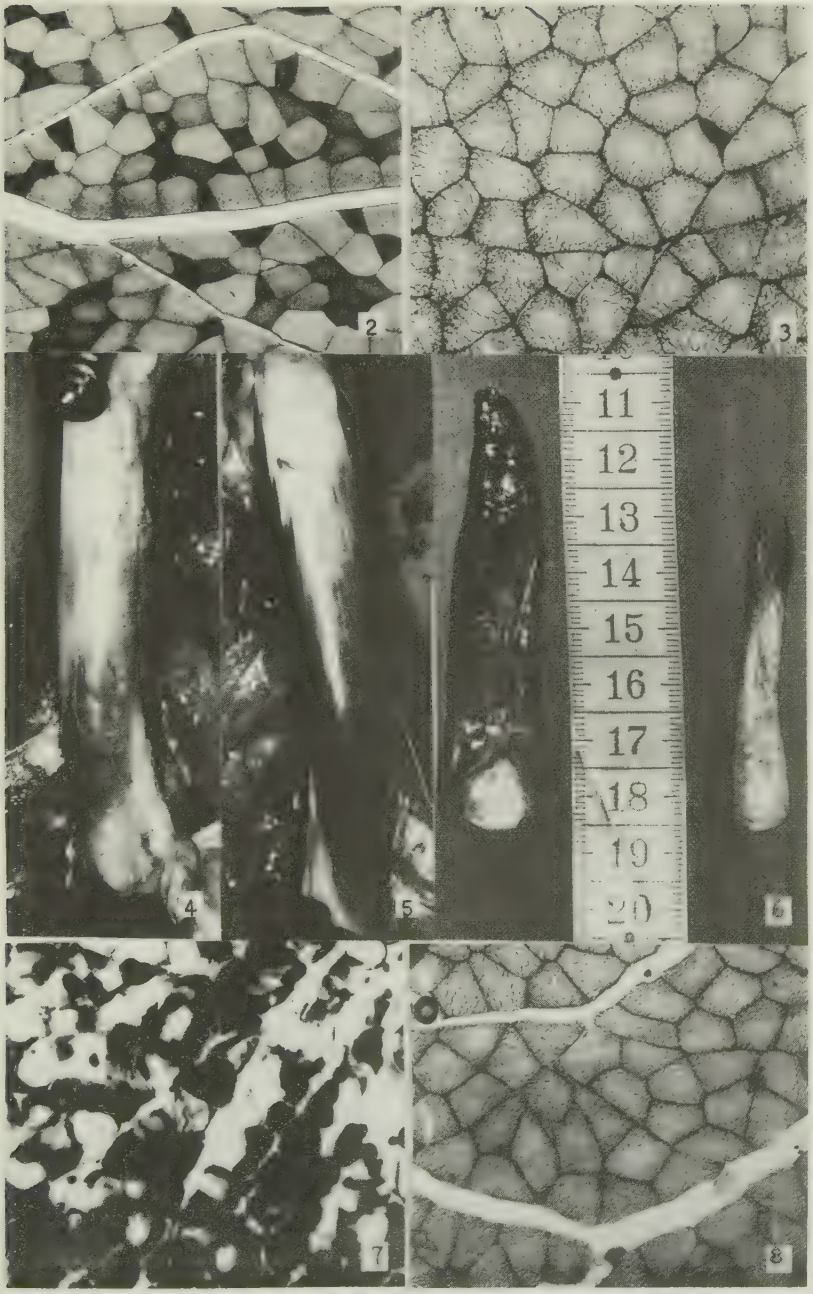
(33) Schmalbruch,H.:Fasertypen in der Unterschenkelmuskulatur der Maus.Z.Zellforsch.79, 64-75 (1967a).

(34) Gauthier,G.F.: On the relationship of ultrastructural and cytochemical features to color in mammalian skeletal muscle. Z.Zellforsch. 95, 462-482 (1969)

(35) Pongratz D., Mittelbach F.,Brück H.-J.: Über die Einsatzmöglichkeiten des Leitz-Classimat in der Myometrie. Leitz-Mitt. Wiss.u.Techn. V/5, 129-131 (1971)

(36) Baumann F., Behr O.: Elektromyographische Untersuchungen der Hüftmuskulatur nach Arthrodese. Arch. orthop.Unfall-Chir.66,1-17(1969)

(37) Pauwels,F.: Über die Bedeutung einer Zuggurtung für die Beanspruchung des Röhrenknochens. Verh. Dtsch.Orthop.Ges.52,231-257(1965)


2
3
4
5
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
6
7
8

Lebenslauf

Ich, Gernot Denzler, wurde am 14. März 1943 in Bamberg als Sohn des jetzigen Reg.Med.Dir.a.D.Dr.Fritz Denzler und seiner Ehefrau Ilse, geb. Rosenberger, geboren.

Im Alter von sechs Jahren trat ich in die Volksschule ein und wechselte vier Jahre später in das humanistische Jean-Paul-Gymnasium der Stadt Hof/Saale über. Nach neunjährigem Besuch dieser Schule legte ich im Juli 1962 die Reifeprüfung mit Erfolg ab.

Von 1962 bis 1965 diente ich bei der Bundeswehr; beim Ausscheiden hatte ich den Dienstgrad eines Leutnants erreicht.

Ab dem Wintersemester 1965/66 studierte ich ohne Unterbrechung an der Ludwig-Maximilians-Universität in München Medizin. Mit dem 1. August 1972 legte ich die ärztliche Staatsprüfung ab.

Zur Zeit bin ich im Bundeswehrkrankenhaus München als Medizinalassistent tätig.